



Ministério da Educação e do Desporto
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral



Análise do Estado da Arte do Fechamento de Mina em Minas Gerais

Autora: **Maíra Fonseca da Cunha**

Orientador: **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de concentração: Lavra de Minas.

Ouro Preto
2007

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

“O futuro dependerá daquilo que fazemos
no presente” Gandhi

“O segredo é não correr atrás das
borboletas.....É cuidar do jardim para que elas venham
até você.” Mário Quintana

A Deus e a Nossa Senhora por iluminar
meu caminho e guiar os meus passos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Professor e excelente orientador e amigo, Hernani Mota de Lima, que aceitou o desafio de orientar uma Bióloga e me deu todo o apoio necessário para a realização e principalmente para a conclusão desta dissertação. Muito obrigada mais uma vez por me ajudar confiar na minha capacidade e no meu trabalho.

Ao professor Wilson Trigueiro pela dedicação e disponibilidade nestes dois anos do mestrado.

A Flávia pela amizade e apoio durante o mestrado, ao Diego pela dedicação e excelente trabalho dos dados em Arcgis e ao Pedro Amade e demais colegas do mestrado.

Ao Programa Capes pelo apoio financeiro com a bolsa de estudo e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A minha mãe que sempre me deu muita força e apoio para realizar os meus sonhos e que sempre me observou com dedicação e amor a minha caminhada nos estudos e na vida.

Aos meus irmãos Sávio e Gustavo, a minha avó Afra que sempre estiveram presentes em todos os momentos importantes desta caminhada.

Ao meu pai, irmãos, tios e vovó Zezé pelo carinho e interesse nos meus estudos.

A SEE pela oportunidade de desvendar o fascínio das cavernas, pelo conhecimento adquirido, pelas responsabilidades e principalmente pelas amizades formadas. “Mantendo a chama acesa”.

À República Quarto Crescente pela amizade e companheirismo em todas as horas, a todas as moradoras e às ex-alunas o meu muito obrigado por poder fazer parte de uma casa maravilhosa.

À República Espigão pela amizade, e a Sparta e Deuses.

Ao Dente pelo companheirismo, pela força, amizade e amor durante estes anos.

Às amigas Bitela e Boka, minhas eternas companheiras.

Aos amigos Morrêdera, Ném, Nakapa, Sabão, Tékus, Janjão, Minhocão e Troko.

As Empresas de Mineração que cederam os dados para a elaboração deste estudo.

Ao DEMIN, Escola de Minas e UFOP.

RESUMO

Os desafios enfrentados pela mineração atualmente são muitos. Com destaque para a contínua pesquisa por novas reservas, limitações adicionais ao acesso e dificuldades de obtenção ao direito de lavra e normas ambientais cada vez mais restritivas e, potencialmente, os custos associados a estas. Adicionalmente, o sucesso de um fechamento de mina tem se tornado uma preocupação e uma meta dentro das empresas, bem como uma medida de desempenho entre os envolvidos no processo. A indústria mineral no Brasil é muito diversa em termos de tipo de minério e do tamanho das minas e do porte das companhias que estão em atividade no setor. O Estado de Minas Gerais é o mais importante para a mineração, pois acolhe 50,6% das minas grandes e 46,5% das médias. Muitas minas em Minas Gerais estão no primeiro estágio de fechamento. Embora não haja, no Brasil, uma legislação pertinente, empresas de mineração têm adotado as melhores práticas ambientais e enfrentado o desafio de fechar uma mina de forma adequada de acordo com a atual legislação ou abandonando o local da mina. Apesar de não existir uma legislação para o fechamento de mina no Brasil, as indústrias brasileiras, atualmente, estão desenvolvendo técnicas para minimizar os impactos ambientais. Os estudos de caso no Estado de Minas Gerais, a maioria localizado no Quadrilátero Ferrífero, fornecem um excelente testemunho das técnicas de reabilitação implementadas pelas empresas de mineração. Esta dissertação apresenta uma análise do estado da arte do fechamento de mina em Minas Gerais tomando como exemplo, a mina de Águas Claras (a primeira grande mina de minério de ferro a ser propriamente fechada na América do Sul) visto que seu plano de fechamento de mina tem se tornado uma referência no Brasil, bem como outras minas, incluindo uma de urânio, três de ouro e quatro de minério de ferro. Destaca as razões para o fechamento, os maiores riscos envolvidos em cada uma e as técnicas de reabilitação adotadas além do uso futuro proposto para o local da mina. O outro objetivo deste estudo foi de propor técnicas para mensurar a qualidade e o nível da recuperação ambiental realizado pela mineração através do monitoramento da área. Adicionalmente, utilização de indicadores biológicos, bioindicadores, na fase do fechamento foi recomendada por se tratar de uma ferramenta importante para medir a qualidade biológica do ambiente na área pós-mineração.

Palavras-chave: Mineração, Fechamento de Mina, Recuperação Ambiental, Bioindicadores.

ABSTRACT

The challenges facing the mining industry today are many. Foremost amongst them are the continuous search for new reserves, additional limitations on access and the difficulty of obtaining mining rights, ever more prescriptive environmental regulations and, potentially, the associated compliance costs. In addition, successful mine closure is becoming a major preoccupation within the industry, as well as a measurement of performance by stakeholders. The mining industry in Brazil is very diverse in terms of type of ore produced and the size of the mines, as well as companies, that are active in the sector and Minas Gerais State is the most important mining State holding 50.6% of the largest mines and 46.5% of the medium ones. Many mines in Minas Gerais State – Brazil are today in an early stage of closure. Despite the absence of closure regulations in Brazil, many mining companies are still attempting to adopt best practice and are facing the challenge of closing a mine properly instead of simply complying with current legislation or abandoning the mine site. Although there is no current regulation on mine closure in Brazil, the Brazilian mining industry today is at the forefront of environmental impact minimisation techniques. Many case studies in Minas Gerais State, most of them located in the Iron Quadrangle, provide excellent testament to the industry's rehabilitation expertise. This dissertation presents the state of art of mine closure in Minas Gerais taking as example, the Águas Claras Mine (the first big iron ore mine to be properly closed in South America) since its mine closure plan already became a reference in Brazil as well other mines, including the an uranium, three gold, four iron ore, and other mines. It emphasizes the main reasons of closure of each of these mines, their major risks involved for each one and the rehabilitation techniques adopted by each in order to reach the final use for the mined area. In addition, it is presented the technique proposed for assessment the quality and level of environmental rehabilitation by land monitoring. The use of biological indicators, bioindicators, is recommended as a useful tool to assess the environmental quality of a post mining site.

Key words: Mining, Mine Closure, Environmental Reclamation, Bioindicators.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA.....	3
1.4 METODOLOGIA.....	3
CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE.....	5
2.1 FECHAMENTO DE MINA.....	5
2.2 RECUPERAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	16
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
3.1 FECHAMENTO DE MINA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	29
3.1.1 MINA DE ÁGUAS CLARAS.....	32
3.1.2 MINA DA MUTUCA.....	35
3.1.3 MINA DE CAETÉ.....	36
3.1.4 MINA RIACHO DOS MACHADOS.....	37
3.1.5 MINA DO PIÇARRÃO.....	39
3.1.6 MINA OSAMU UTSUMI.....	42
3.1.7 MINA VELHA.....	45
3.1.8 MINA DE GERMANO.....	50
3.2 NÍVEL DE RECUPERAÇÃO DAS MINAS ESTUDADAS.....	53
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXO.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caracterização esquemática da dinâmica dos sistemas: floresta e degradado.....	21
Figura 2: Mapa de Minas Gerais mostrando as minas georeferenciadas.....	31
Figura 3: Detalhe do Quadrilátero Ferrífero mostrando as minas.....	31
Figura 4: Vista geral da cava da mina de Águas Claras sendo preenchida com água.....	33
Figura 5: Ilustração do lago a ser formado na cava e da revegetação nos taludes e áreas próximas a cava (Mina de Águas Claras).....	33
Figura 6: “Layout do Águas Claras Village”.....	34
Figura 7: Layers em ArcGIS da Mina de Águas Claras.....	34
Figura 8: Vista aérea da cava da mina da Mutuca (esquerda) e projeto de reconformação topográfica (direita).....	35
Figura 9: Layers em ArcGIS da Mina da Mutuca.....	35
Figura 10: Imagens antes (2001) e depois (2006) da reabilitação ambiental em taludes na mina de Caeté.....	36
Figura 11: Layers em ArcGIS da Mina de Caeté.....	37
Figura 12: Áreas em reabilitação (2002 e 2006) na mina de Riacho dos Machados.....	38
Figura 13: Layers em ArcGIS da Mina Riacho dos Machados.....	38

Figura 14: Imagens antes (2000) e depois (2002) da reabilitação ambiental de uma voçoroca na mina de Piçarrão.....	39
Figura 15: Vista geral de aplicação das técnicas de bio-engenharia de uma voçoroca na mina Piçarrão.....	40
Figura 16: Layers em ArcGIS da Mina Piçarrão.....	41
Figura 17: Lago da cava com drenagem ácida (Mina Osamu Utsumi).....	43
Figura 18: Instalação para tratamento da água ácida (esquerda) e instalações industriais (direita) da mina Osamu Utsumi.....	43
Figura 19: Fluxograma do tratamento de água ativo da mina Osamu Utsumi.....	44
Figura 20: Layers em ArcGIS da Mina Osamu Utsumi.....	45
Figura 21: Vista das instalações industriais vizinha à comunidade no ano de 1960 da Mina Velha.....	46
Figura 22: Antes e depois da recuperação do passivo ambiental no Rio Cardoso (Mina Velha).....	46
Figura 23: Morro do Galo antes e depois, com barragem para contenção de sedimentos (Mina Velha).....	48
Figura 24: Antiga galeria da mina Velha para exploração subterrânea (esquerda), e uma montagem de um futuro anfiteatro a ser criado com destaque para galeria (direita).....	48
Figura 25: Localização da “Gold City” no circuito turístico do ouro de Minas Gerais.....	49
Figura 26: Layers em ArcGIS da Mina Velha.....	49

Figura 27: À esquerda situação atual da cava do Germano e à direita ilustração da cava após a reabilitação.....	50
Figura 28: Layers em ArcGIS da Mina Germano.....	51
Figura 29: Ilustração dos processos que envolvem a restauração do ecossistema degradado.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação das condutas de fechamento de empreendimentos mineiros adotadas em países minerais.....	10
Tabela 2: Conteúdo típico de um plano de fechamento.....	15
Tabela 3: Exemplos de componentes e indicadores para a integridade ecológica.....	22
Tabela 4: Indicadores biológicos utilizados na mineração.....	24
Tabela 5: Principais minas fechadas e em fechamento no estado de Minas Gerais.....	30
Tabela 6: Custos de fechamento das minas da Companhia Vale do Rio Doce.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

et al. – et alli

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

INB – Indústrias Nucleares do Brasil

MBR – Minerações Brasileiras Reunidas

NRM – Norma Reguladora da Mineração

PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A atividade de extração dos recursos de minerais se tornou imprescindível no mundo moderno e não poderia ser diferente no Brasil, onde a mineração expandiu nas últimas décadas impulsionada pela descoberta de novas jazidas, pelo crescimento econômico e industrial brasileiro e mundial, e pelo desenvolvimento tecnológico.

A intervenção humana tem um efeito desestabilizador sobre os ecossistemas naturais e a mineração é apenas mais uma entre as várias formas de degradações decorrentes das modificações ambientais em consequência da ação antrópica. Entretanto, os impactos advindos desta atividade provocam um intenso nível de degradação, embora local, alteram bruscamente a paisagem com a movimentação de terra (cava da mina, pilha de estéril e barragem de rejeito), supressão da vegetação, erosão, destruição de habitat animal, degradação e exposição do solo, modificação do curso de rios, poeira e poluição, geração de resíduos tóxicos e drenagem ácida, além do impacto sócio-econômico, pois muitas vezes a mineração cria uma dependência da comunidade com a empresa em relação à geração de empregos e infra-estrutura do município.

Os impactos gerados por esta atividade, portanto são de origem biológica e ecológica, física, química e sócio-econômica; e a desativação e o fechamento das minas tornou-se um grande desafio para as empresas de mineração, agências reguladoras e para a comunidade.

O fechamento de mina é um dos importantes assuntos que a indústria mineral vem enfrentando e, no Brasil, a preocupação com a fase do fechamento/desativação dos empreendimentos mineiros iniciou-se com a exaustão de algumas grandes minas como, por exemplo, a mina de Águas Claras e Mutuca da Minerações Brasileiras Reunidas - MBR e mina do Germano da Samarco Mineração. Antes disso, inúmeras minas antigas foram abandonadas, o que incitou uma preocupação dos órgãos ambientais para a responsabilidade das empresas.

O fechamento de uma mina deve ser considerado como uma parte integral do ciclo de vida de um projeto de uma mina e, deve ser planejado ainda na fase de licenciamento do projeto

e incorporado ao dia-a-dia da mineração. O uso futuro é um dos maiores problemas enfrentados na etapa de desativação da mina, pois o retorno da área à fase pré-mineração é muitas vezes impraticável devido à inviabilidade econômica e técnica.

Desde o final da década de 80, quando o minerador foi obrigado a recuperar a área degradada e a apresentar o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), as normas ambientais estão cada vez mais restritivas, exigindo da indústria cada vez mais rigor na minimização dos impactos da mineração no meio ambiente. Embora não existam leis federais específicas para o fechamento de uma mina, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) publicou, no ano de 2001, as Normas Reguladoras da Mineração. As NRM, dentre outras questões, abordam a suspensão e a retomada das atividades de lavra e o fechamento das minas. A recuperação de áreas degradadas deve ser realizada ao longo do ciclo de vida da mina até seu total encerramento.

A opinião pública e a cobrança, principalmente da comunidade vizinha ao empreendimento, tem forçado as empresas a realizar um amplo e eficiente programa de recuperação ambiental na fase do fechamento de mina. Para atender a essa demanda, têm-se buscado novas técnicas, bem como a adoção e o aperfeiçoamento das melhores práticas para recuperação ambiental.

A recuperação ambiental é o processo pelo qual são promovidas intervenções, para a recomposição dos processos funcionais de um ecossistema degradado, como a estabilidade e biodiversidade, de modo a possibilitar o retorno do sítio degradado ao processo sucessional natural, conforme as condições edáficas e climáticas específicas do local.

Adicionalmente, um plano e uma abordagem racional são também necessários para aliviar impactos diretos ou indiretos nas pessoas e nas comunidades afetadas pelo fechamento de mina de forma a garantir a sustentabilidade ambiental, econômica e social da área pós-mineração.

1.2 OBJETIVO

A dissertação tem por objetivo analisar o processo de Fechamento das Minas no estado de Minas Gerais de modo a tecer considerações sobre o estado da arte do fechamento de mina

e contribuir para o aperfeiçoamento da prática de recuperação ambiental de sítios mineiros, destacando-se a proposição de indicadores da qualidade ambiental adequados para verificar a eficiência destas práticas.

Os resultados da pesquisa, reunidos na dissertação, visam constituir-se numa contribuição para o aperfeiçoamento da prática de recuperação ambiental e deverão ser disponibilizados eletronicamente, em ArcGis, os dados das minas fechadas estudadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este estudo se justifica pelo fato do pouco conhecimento da situação das minas fechadas no estado de Minas Gerais e dos passivos ambientais destas, bem como das técnicas e procedimentos adotados nas minas em fechamento. Portanto, faz-se necessário conhecer o número de minas fechadas no estado, o status, sucessos e insucessos dos programas de fechamento adotados em função dos passivos ambientais existentes ou gerados pelo próprio fechamento de mina. Um diagnóstico da situação de minas fechadas em Minas Gerais propiciará uma visão geral do estado da arte do fechamento/reabilitação de mina. Em adição, poderá orientar a implementação de uma legislação para fechamento de mina que atenda aos anseios das empresas de mineração, agências governamentais e sociedade.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente trabalho consistiu de trabalhos de campo e de um levantamento da bibliografia existente sobre as minas em processo de fechamento no estado de Minas Gerais.

Foi realizada a compilação dos dados com abrangência sobre os dois temas principais: quanto ao fechamento de mina, seus conceitos e como a fase final de uma operação mineira está sendo tratada; quanto às novas técnicas utilizadas para o monitoramento ambiental, como uma maneira de avaliar a qualidade e eficácia da recuperação do ecossistema, implementado pelas empresas, no encerramento e no pós-fechamento.

Na etapa de campo foram realizadas visitas ao DNPM e a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), além das visitas às empresas de mineração que vêm desenvolvendo um

plano ou atividades de fechamento de mina nos últimos 10 anos, buscando-se fundamentalmente observar e avaliar qualitativamente o nível de recuperação/reabilitação alcançado e conhecer os problemas e sucessos obtidos. Os critérios utilizados para a escolha das minerações em fechamento foram com relação à confiabilidade dos dados, à maior expressividade do empreendimento, seja no tamanho, no tipo de minério, ou no grau de implementação da recuperação e encerramento.

As minas foram analisadas qualitativamente quanto ao estágio e ao tipo de fechamento utilizado. Adicionalmente, o trabalho pretende sugerir formas de aperfeiçoamento dos procedimentos de monitoramento dessas minas após o encerramento.

Foi realizado um Georeferenciamento das Minas Fechadas de Minas Gerais, para disponibilizar as informações coletadas sobre as minas na forma de um mapa georeferenciado. Para tal, adotou-se o ArcGIS como instrumento de georeferenciamento com mapas (edição e automação), cartografia, gerenciamento de dados e análise geográfica/espacial, desenvolvido com o tutorial do programa ArcGIS 9.0. Desta forma os dados específicos das minas foram organizados na forma de layers (nome, empresa, município, período de atividade, etc) e fotos ilustrativas, inseridos nos mapas de Minas Gerais e Quadrilátero Ferrífero.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

2.1 FECHAMENTO DE MINA

A origem da mineração remonta aos primórdios da humanidade e, desde então vêm deixando as suas marcas na superfície da Terra. Contudo esta atividade se tornou mais expressiva e intensa a partir da Revolução Industrial quando a exploração de carvão, ferro, manganês, cobre e ouro, principalmente, bem como de chumbo, zinco e níquel passou a ser praticada em larga escala, removendo enormes toneladas de minério (CLARK & CLARK, 2002).

A mineração é uma atividade econômica finita e transitória, que é responsável por mudanças substanciais na comunidade e no meio ambiente onde atua. É amplamente influenciada pelas variações no mercado e nas reservas de minério, bem como por condições políticas e ambientais dos países.

Embora a mineração provoque degradação em áreas de floresta relativamente pequenas, em comparação com outras formas de mudança de uso de terras, como agricultura, exploração madeireira, produção de energia hidrelétrica e construção de estradas; os impactos advindos da mineração de superfície são bastante intensos, como, por exemplo, a cava da mina altera drasticamente a topografia e a paisagem da área, além de influenciar em processos erosivos, alterações no regime hídrico (escoamento superficial e rebaixamento de lençol freático) sem falar na supressão da vegetação, no afugentamento da fauna local, na desestruturação do solo e do subsolo.

Novos métodos que tentam integrar as interações entre o ecossistema e as atividades humanas são indispensáveis para controlar melhor o desenvolvimento de uma área. Novas ferramentas são necessárias para manter e aumentar a biodiversidade em um ecossistema degradado como a utilização de bioindicadores da qualidade ambiental. Para alcançar este objetivo, a reabilitação ambiental não deve ser considerada um evento que ocorre em uma época determinada. Na verdade, é um processo que inicia antes da mineração e termina muito depois desta ter se completado.

O desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a exploração, tratamento de minério e criação de novos produtos, viabilizou e ampliou a vida útil de muitas minas, principalmente as de baixo teor de minério, culminando num crescimento das empresas, no aumento da geração de empregos e, em uma diversificação de minas. A expansão da mineração somada à sua ampla distribuição pelo país, colocou as empresas frente a pressões, da sociedade e do Estado, em diversos setores como: segurança do trabalho e saúde, direitos trabalhistas, responsabilidade social e, principalmente, com relação à degradação provocada ao meio ambiente e a necessidade e obrigatoriedade de recuperá-lo .

O estágio final de um projeto de exploração mineral envolve o fechamento da mina e o cumprimento de todas as exigências legais e técnicas cabíveis ao empreendimento. Durante as últimas décadas o termo “fechamento de mina” estava firmemente arraigado dentro da mineração entre os encarregados e os operadores. Somente quando a “escola antiga” dos engenheiros de minas reconheceu que esta quarta fase do ciclo de uma mina era tão importante como a exploração, desenvolvimento e produção, o fechamento começou a receber mais atenção e passou a ser um pouco mais valorizado entre os profissionais (LAURENCE, 2006). Embora seja reconhecido como um importante componente, fechar uma mina ainda carece de entusiasmo e prestígio comparado às outras fases.

O termo descomissionamento (do inglês “decommissioning”) originou-se de uma exigência formal para a desativação de instalações nucleares, sendo a seguir estendido para a mineração de urânio e subseqüentemente abrangendo todos os ramos da indústria mineral (CAMPBELL & EMERY, 1995). Segundo OLIVEIRA JÚNIOR (2001) o termo pode ser definido como a parada das operações mineiras e o preparo para o desmonte de suas unidades. Uma fase de transição entre o fechamento (“closure”) e o uso futuro da área (TAVEIRA, 2003).

Os conceitos, definições e questões relacionados ao fechamento de mina podem ser descritos como “...a reabilitação de uma área perturbada em um local seguro, estável e produtivo pós-mineração, que seja apropriado e/ou aceitável pela comunidade...” (ALLEN & BRIGGS, 1999), também como “...reabilitação e restauração de um local para assegurar que o fechamento de uma mina não vai comprometer a qualidade ambiental no futuro e limitar a extensão de qualquer provável passivo para o responsável, o governo e para a comunidade” (SASSOON, 1996) e como “...retornar a mina e as áreas afetadas em viáveis

e, também praticáveis, ecossistemas auto-sustentáveis que são compatíveis com um ambiente saudável e com as atividades humanas (MINING ASSOCIATION OF CANADA, 1994).

O tema comum em todas as definições acima descritas é que a área impactada pela mineração seja recuperada e reabilitada a um estado que evite danos ambientais futuros e permita um uso alternativo. Em essência, fechamento de mina é considerado pela indústria e, recentemente até por muitos governos, como uma questão principalmente ambiental (CLARK & CLARK, 2002).

Para o governo australiano o fechamento de mina é o processo de fechar uma mina com o objetivo geral de deixar a área em uma condição estável e segura que seja coerente com o ambiente físico, social e ambiental circundante e que não necessite de manutenção permanente. A área da mina deve estar adequada para um uso alternativo pós-mineração dependendo das circunstâncias específicas do local (EPA, 2002).

Então, o fechamento de mina é caracterizado pela paralisação permanente das operações de uma mina e suas instalações de tratamento de minério, após o completo processo de descomissionamento e reabilitação do local. O fechamento final é atingido quando o critério de fechamento, um padrão de desempenho acordado entre os envolvidos no processo, demonstra que o sucesso do programa de fechamento foi alcançado. Descomissionamento ou desativação refere-se a uma intensa atividade do programa de fechamento, que inicia quando da cessação das atividades de produção, o qual incorpora as atividades de remoção, desmontagem da infra-estrutura e serviços, bem como a construção de componentes específicos para o fechamento (LIMA, 2005). Reabilitação ou recuperação refere-se ao retorno da área a uma condição estável, produtiva e auto-sustentável, considerando-se o uso final proposto para o local (KNOL, 1999).

Nos últimos dez anos ou mais temos visto um aumento expressivo da preocupação internacional incidindo em vários aspectos dentro na mineração, seja de pequeno, médio ou grande porte (ANDREWS-SPEED *et al.* 2005). Entre eles estão o fechamento de mina, o desenvolvimento sustentável e a legislação que incide sobre estes. Após a década de 1960 iniciou-se um crescente interesse pelas questões ambientais, na década de 70 e 80 a recuperação das áreas degradadas, drenagem de água ácida, bota-fora (pilha de estéril),

barragem de rejeitos foram alvo das preocupações mundiais. Antes de 1980 a preocupação ambiental na esfera da mineração era mínima e pode-se dizer que com relação ao fechamento de mina era praticamente nula. Já na década de 90 e início do novo século o desenvolvimento sustentável, o fechamento de mina e as questões de ordem sociais estão em alta na pauta de discussões e devem continuar durante muitos anos até que se atinja um patamar mais alto de desenvolvimento dentro da esfera da mineração.

No Brasil, o fechamento de mina, embora não diretamente, vem sendo tratado desde a promulgação do Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989 que passou a exigir dos titulares de concessões de lavra, a reabilitação das áreas impactadas pelas atividades da mineração, de acordo com um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) previamente elaborado e aprovado pelo órgão governamental competente. Embora, segundo LIMA *et al.* (2006), PRAD seja apenas um componente do Plano de Fechamento.

As Normas Reguladoras de Mineração (NRM) constituem o primeiro e importante passo para a sistematização legal das atividades de fechamento das minas. Em 18/10/2001 é publicada pelo DNPM a Portaria 237, que regulamenta a NRM nº 20. Esta norma que tem por objetivo definir os procedimentos administrativos e operacionais em caso de fechamento de mina, suspensão e retomada das operações mineiras. Essa norma norteia duas situações: a suspensão que significa a interrupção temporária; e o fechamento que caracteriza a cessação definitiva da atividade mineira. Neste caso o DNPM deverá ser previamente comunicado e cabe ao empreendedor apresentar o plano de fechamento que contenham os impactos e as medidas mitigadoras referentes aos meios físico, biótico e antrópico, o uso futuro da área e um cronograma físico-financeiro do plano (TAVEIRA, 2003). A NRM nº 21, também regulamentada pela Portaria 237, tem por objetivo definir procedimentos administrativos e operacionais em caso de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas.

As NRM são um avanço na legislação brasileira, mas elas o fazem de maneira ainda tímida e simplificada. Pois ainda deixa lacunas quanto às responsabilidades da empresa, do governo e da participação da sociedade, bem como no cumprimento do plano de fechamento e as diretrizes do mesmo (TAVEIRA, 2003). Além de não estabelecer garantias financeiras reais (caução ambiental) por parte da empresa para evitar que as

minas sejam abandonadas ou que a restauração ambiental, física e química seja realizada de forma incompleta.

A legislação brasileira aborda de forma incipiente a questão do fechamento de mina. Esse fato fica evidente quando se analisa a legislação em vigor em outros países, como a Austrália, o Canadá e os Estados Unidos. A Tabela 1 apresenta a conduta de fechamento de empreendimentos mineiros em alguns países mineradores. A evolução das práticas de fechamento de mina nos países grandes produtores de recursos minerais, como Estados Unidos, Austrália e Canadá, teve início paralelamente ao crescimento da consciência da necessidade de preservação do meio ambiente, como condição para a continuidade da vida, não só nos grandes núcleos urbanos, mas também nas ainda imensas áreas rurais. Assim, em muitos deles, os sistemas técnicos e legais que regulamentam o fechamento de mina têm sido incorporados, com maior ou menor grau de exigências, ao ciclo de vida de todos os projetos de mineração (FLORES, 2006).

É explícita a carência de uma legislação federal específica para o fechamento de minas no Brasil, levando em consideração os tipos de minas e especificidades de cada mina, definindo as competências dos órgãos envolvidos no licenciamento técnico e ambiental dos projetos de mineração – ambientais e minerários; federais, estaduais e municipais – e nas atividades de fiscalização dos planos de operação, fechamento e reabilitação dos sítios mineiros. Essa situação pode ser evidenciada se observarmos o grande número de minas abandonadas que existem em vários países mineradores incluindo o Brasil. Entretanto, nos últimos cinco anos trabalhos consideráveis foram e estão sendo realizados a nível global para minimizar o impacto da mineração nas comunidades, novas leis e regulamentações estão sendo desenvolvidas.

Tabela 1: Comparação das condutas de fechamento de empreendimentos mineiros adotadas em países minerais.

Item	Países desenvolvidos			Países em desenvolvimento	Brasil
	Canadá	EUA	Austrália		
Plano de fechamento faz parte do licenciamento da operação	Sim	Sim	Sim	Vem sendo adotado, mas com falhas em função da legislação antiga	Começa-se a adotar, mas com falhas em função da legislação antiga
Para minas em operação que não possuem plano de fechamento é dado prazo para apresentação	Sim	Sim	Sim	Sim, mas prevê negociação entre governos e empreendedores	Sim, mas prevê negociação entre governos e empreendedores
Apresentação de relatório de acompanhamento do plano de fechamento (ou documento similar)	Sim	Sim	Sim	Sim em alguns casos, mas com pouco aproveitamento	Não, a menos que se contemple nos relatórios enviados pelo empreendedor referentes aos planos de monitoramento previstos na LO ¹
Participação da sociedade	Sim	Sim	Sim	Em alguns países	Apenas nas audiências realizadas para aprovação do EIA/RIMA ²
Responsabilidade perpétua do empreendedor pela área recuperada	Sim	Não é definido	Não é definido	Não é definido	Não é definido
Governo é responsável por fiscalizar a execução do plano de fechamento ou documento similar	Sim	Sim	Sim	Sim, mas há muitas falhas na fiscalização, em parte por falta de infra-estrutura	Sim, mas há muitas falhas na fiscalização, em parte por falta de infra-estrutura
Cobrança de taxas junto ao setor mineral para recuperar a área degradada por empreendimentos mineiros	Sim	Sim	Não	Apenas na Índia	Não
Apresentação de garantias e revisões periódicas de valores	Sim	Sim	Sim	Em alguns países	Não
Cobrança de multas por não cumprir o que foi aprovado no plano de fechamento ou documento similar	Sim	Sim	Sim	Em alguns países	Sim

(Fonte: TAVEIRA, 2003).

¹ LO: Licença de operação

² EIA/RIMA: Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental

Alguns dos componentes básicos para criar uma política de fechamento de mina são (CLARK & CLARK, 2002):

- Prever provisões financeiras específicas para recuperação e reabilitação ambiental;
- Exigir Estudo de Impacto Ambiental e Estudo de Impacto Social associado ao Plano Conceitual de Fechamento de Mina;
- Ter um amplo programa de caução ou garantia financeira;
- Estabelecer provisões específicas para atividades pós-fechamento e em questões de abandono;
- Implementar procedimentos específicos para assegurar o cumprimento do plano.

De acordo com TAVEIRA (2003), a definição de responsabilidades no fechamento de uma mina é um dos grandes abismos existentes na legislação dos países mineradores, tanto desenvolvidos como em processo de desenvolvimento. Sua ausência dá vazão ao abandono de muitas áreas mineradas. Estabelecer responsabilidades é um dos pontos cruciais para dar segurança à sociedade, ao poder público e aos mineradores, garantindo aos dois primeiros grupos que os trabalhos serão realizados, e ao último, que não serão feitas exigências absurdas que possam pôr em risco a atividade mineral (FLORES, 2006).

Para abrir uma mina é necessário que o minério a ser explotado seja economicamente viável durante muitos anos. Mas para fechar uma mina existe uma ampla variedade de razões. A mais freqüente ocorre devido à exaustão das reservas de minério e, na maioria dos aspectos é a mais fácil de ser realizada, entre eles porque provoca o encerramento definitivo das operações. Muitas minas fecham temporariamente e reabrem posteriormente quando as condições adversas cessam, mas muitas das minas cujo fechamento será “temporário” resultam no final em propriedades abandonadas, tornando minas abandonadas e, cada uma dessas minas apresenta problemas específicos para o governo, para a indústria e para a sociedade (CLARK & CLARK, 2002).

Questões de ordem econômica provocadas pelas flutuações no preço do produto no mercado mundial, geralmente influenciam o fechamento das minas pequenas por serem mais instáveis economicamente, ou por falência da empresa. Podendo ser também por razões geológicas como a diminuição do nível do corpo do minério. Motivos técnicos

como condições geotécnicas ou mecânicas adversas, em minas subterrâneas principalmente, ou por questões regulamentares em consequência de algum problema relacionado ao meio ambiente ou à segurança também levam ao fechamento de uma mina. Mudanças políticas e de governo podem provocar a paralisação temporária, permanente ou em alguns casos ao abandono. Por outro lado, uma mina pode ser forçada a fechar por pressões sociais e da comunidade envolvida, principalmente se existe algum tipo de oposição à presença da mineração na área (LAURENCE, 2006).

Considerando o fechamento da mina do ponto de vista do esgotamento das reservas economicamente viáveis, o primeiro passo deveria ser dado antes do início da fase de exploração. Um Plano Conceitual do fechamento de mina deve ser feito considerando as estimativas de vida útil da mina e as medidas que vão ser tomadas ao longo do desenvolvimento do empreendimento.

O plano conceitual de fechamento forma uma declaração de intenção de assumir a mitigação ambiental, recuperação e tarefas relacionadas ao fechamento durante as operações e depois do fechamento, são necessárias e praticamente possíveis. O plano também inclui medidas de contingência para fechamento temporário das operações. É baseado no nível de viabilidade dos projetos de engenharia e do plano de mineração, e é considerado como um documento dinâmico, que pode ser aprimorado durante a fase operacional do projeto (KNOL, 1999).

Para KNOL (1999), SASSOON (2000), EPA (2002) e FOURIE & BRENT (2006) o fechamento inclui:

- O re-estabelecimento da cobertura vegetal apropriada para a área;
- Manutenção da qualidade do ar e da água superficial e subterrânea;
- Estabilidade física e química das barragens de rejeitos, pilhas de estéril e da cava da mina;
- Disposição segura da infra-estrutura;
- A proteção da saúde e segurança pública;
- Promover o desenvolvimento da estabilidade ecológica e de um ecossistema sustentável (fauna e flora);

- O re-estabelecimento do ambiente estético proporcionando qualidade visual e oportunidades de recreação;
- Um projeto de configuração do terreno compatível com o divisor de águas e principalmente com o uso futuro da área;
- Minimizar os impactos sócio-econômicos;
- Cumprir a expectativa da comunidade.

Em se tratando de fechamento de mina e reabilitação, KNOL (1999) e SASSOON (2000) identificam três estágios, definidos como:

1. O Estágio do Planejamento – o plano de reabilitação deve ser estabelecido e integrado aos planos de lavra e gerenciamento ambiental quanto mais cedo possível e, periodicamente, atualizado durante a vida operacional do projeto.
2. Estágio de Tratamento Ativo – o programa de tratamento ativo deve ser implementado imediatamente após cessação das operações em uma área específica, i.e, o fechamento de uma pilha de estéril ou o completo fechamento da mina.
3. Estágio de Tratamento Passivo – trata-se de um período ou estágio onde um programa de monitoramento é implementado para demonstrar que o programa de tratamento ativo alcançou o sucesso almejado e que um estado de não intervenção na área foi atingido.

De acordo com ANZMEC (2000) para o plano e o fechamento serem viáveis e aplicáveis na prática é necessário que seis importantes itens possam ser implementados durante o ciclo de vida da mineração.

O primeiro passo é determinar quais são os **Envolvidos** no fechamento para que durante todo o processo de fechamento cada um tenha seus interesses e responsabilidades determinadas. Geralmente fazem parte deste grupo a empresa, a comunidade e o governo. Dentro do escopo da empresa os trabalhadores e gerentes ou diretores estão intrinsecamente envolvidos, pois são eles que vão desenvolver os projetos durante toda o ciclo da mina. Para a comunidade é extremamente importante estar envolvida desde o início do fechamento, pois ela está diretamente relacionada com a atividade, freqüentemente os impactos ambientais não são o principal problema após o fechamento, mas sim a dependência criada com a mineração, seja do ponto de vista da geração de empregos ou da infra-estrutura proporcionada como as creches, escolas e clínicas sob a responsabilidade da empresa ou da manutenção de praças, parques e jardins, entre outros.

Para os governos locais, estaduais e federais além de serem os responsáveis por grande parte das exigências ambientais e sociais, e também pela fiscalização, com o encerramento das atividades os Governos vão deixar de arrecadar com as tributações (impostos) e com “royalties”. E, em muitos casos, vão ter que arcar com a infra-estrutura antes mantida pela mineração nas comunidades.

O **Planejamento** deve ser realizado durante os estudos de viabilidade da mina e deve ser atualizado na fase de operação para manter os custos e o cronograma sempre compatíveis com a situação presente. A falta de atualização dos dados pode provocar graves conseqüências ambientais e econômicas (MUDDER & HARVEY, 1998). Os objetivos do planejamento do fechamento de mina são para proteger o meio ambiente e saúde e segurança pública, reduzir ao máximo os impactos adversos do encerramento, instituir condições que sejam condizentes com o uso futuro e reduzir o monitoramento e manutenção das áreas criando um ambiente químico e fisicamente estável. Dentro do Plano de Fechamento devem estar contidos o Plano de Reabilitação/Recuperação, o Plano de Descomissionamento, o Plano de Monitoramento e Manutenção e o Plano de Análise de Risco.

A **Provisão Financeira** é uma medida de segurança, para o governo e para a comunidade, pois os objetivos principais de se estabelecer uma provisão financeira para fins de fechamento de mina são assegurar que fundos adequados estejam disponíveis no momento para implementação do plano de fechamento. Portanto, uma provisão financeira deve fazer parte de todos os planos de fechamento (LIMA, 2005).

O objetivo da **Implementação** do fechamento de mina é assegurar e definir as responsabilidades e os recursos necessários para a realização do plano de fechamento. Essa etapa é reflexo da fase de operação da mina e das medidas necessárias para manutenção e monitoramento após o fechamento.

O estabelecimento de **Padrões** e critérios específicos para mensurar e demonstrar o completo sucesso do fechamento são os objetivos desta fase. A tentativa de criar padrões deve abranger várias áreas de estudo, desde uma legislação específica e condizente com as necessidades do fechamento, passando por medidas sócio-econômicas que sejam realmente

efetivas, bem como medidas de cunho ambiental como a seleção de indicadores para medir e determinar o sucesso da recuperação do ecossistema e das interações biológicas.

A **Renúncia** do Título Minerário é a última etapa do processo de fechamento de uma mina e uma garantia dos órgãos responsáveis que a empresa cumpriu todas as exigências e que o Governo está de acordo com as medidas realizadas para o completo fechamento da mina.

A Tabela 2 apresenta o conteúdo típico de um plano de fechamento, o qual pode variar dependendo das circunstâncias de cada projeto, mas que pode servir como base para a realização de um plano com relação às fases e à medida que devem ser tomadas.

Diversas minas observadas, em vários estágios de vida, demonstraram que o planejamento para o fechamento é complexo e inclui um alto grau de subjetividade e incerteza, particularmente com relação aos envolvidos no processo, pois estes sofrem muitas influências externas. Quanto maior for o engajamento dos envolvidos no processo de planejamento menor será o risco e o grau de incerteza e subjetividade no pós-fechamento (KNOL, 1999).

Tabela 2 – Conteúdo Típico de um Plano de Fechamento para minerações de grande porte e/ou impacto (ANZMEC, 2000).

- 1. Introdução e Descrição do projeto**
- 2. Objetivos do Fechamento**
- 3. Banco de Dados Ambientais**
- 4. Obrigação Legal (ou de outra natureza)**
 - ✓ Estatutos básicos e regulamentações
 - ✓ Autoridade responsável
 - ✓ Instrumentos reguladores
- 5. Partes Envolvidas**
 - ✓ Identificação das Partes
 - ✓ Consulta à comunidade
- 6. Avaliação de riscos**
 - ✓ Passivo Ambiental Presente
 - ✓ Riscos futuros
 - ✓ Análise de custo/benefício
- 7. Critérios de fechamento**
- 8. Custos de fechamento**
 - ✓ Provisões financeiras
 - ✓ Garantias financeiras
- 9. Plano de Ações para o Fechamento**
 - ✓ Recursos humanos / distribuição de responsabilidades
 - ✓ Reabilitação progressiva
 - ✓ Descomissionamento
 - ✓ Remediação

- ✓ Avaliação geotécnica
- ✓ Conformação do relevo
- ✓ Revegetação
- ✓ Conformação estética
- ✓ Herança cultural / valor histórico
- ✓ Saúde e segurança pública
- ✓ Plano de Monitoramento e Manutenção para o Pós-fechamento
- ✓ Documentação e arquivamento dos relatórios/projetos
- ✓ Superfície (estruturas remanescentes e fontes potenciais de contaminação)

10. Renúncia ao Título Mineiro

Fonte: LIMA (2005).

2.2 RECUPERAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL

O grande e crescente número de seres humanos na Terra combinado com os rápidos avanços no desenvolvimento tecnológico asseguram extensos danos ao meio ambiente. Os problemas ambientais causados pela extração mineral da superfície e do subsolo deixam suas marcas nos ecossistemas e se estendem por toda parte do mundo. Os impactos causados pela exploração do minério e por todas as suas fases posteriores afetam a superfície do solo, a composição vegetacional e toda a dinâmica de um sistema ecológico, dando origem a um novo ecossistema que necessita de monitoramento e avaliação contínua.

Sendo assim, a intervenção humana tem um efeito desestabilizador sobre os ecossistemas naturais, perturbando seu equilíbrio dinâmico. Os ecossistemas não são entidades estáticas, ao contrário, sofrem flutuações na sua estrutura e função em decorrência de mudanças ambientais de curto, médio e longo prazo (KIMMINS, 1987), e um dos principais atributos dos ecossistemas é a sua capacidade de mudança temporal.

Todos os ecossistemas aquáticos ou terrestres estão sujeitos a distúrbios naturais ou antrópicos, que provocam mudanças em menor ou maior grau. Segundo WHITE & PICKETT (1985), distúrbio é um evento relativamente discreto no tempo que altera a estrutura de um ecossistema, comunidade ou população, bem como provoca mudanças na disponibilidade de recursos ou no meio físico. Cada ecossistema reage de forma característica que pode ser medido de acordo com a escala (tamanho da área afetada), duração (tempo de permanência do distúrbio), frequência (número médio de eventos por unidade de tempo), intensidade e magnitude (ENGEL & PARROTTA, 2003).

Definem-se como ecossistema degradado aquele que sofreu perturbações antrópicas, levando-o a diminuição da sua capacidade de recuperação e com perda de espécies e interações importantes, mas mantendo os meios de regeneração biótica (CARPANEZZI *et al.*, 1990). Um ecossistema degradado apesar de não ser capaz de regenerar-se até a sua condição inicial, ainda mantêm sua capacidade de produzir bens e serviços para as necessidades do homem (BROWN & LUGO, 1994).

Em ecossistemas terrestres ocorre a destruição da cobertura vegetal e fauna, perda da camada fértil do solo e alteração na qualidade e vazão do sistema hídrico, situação definida como área degradada, segundo MINTER/IBAMA (1990). Nesses casos a intervenção do homem faz-se necessária, a fim de estabilizar e reverter os processos de degradação, acelerando e direcionando a sucessão natural. Tal intervenção pode ser feita sob diferentes abordagens, com objetivos e resultados distintos (ENGEL & PARROTTA, 2003).

Na maioria das vezes a tarefa de restaurar o ecossistema às suas condições originais é difícil ou praticamente impossível por várias razões. As informações ecológicas detalhadas sobre a condição original muitas vezes não estão disponíveis e as técnicas para recolonizar o ecossistema danificado com espécies originais não são adequadas, além de não possuir fontes relevantes e satisfatórias sobre os organismos presentes sob as condições originais (CAIRNS JR., 1997). Diante de tais circunstâncias, deve-se levar em consideração a criação de ecossistemas alternativos que sejam ecologicamente superiores à condição danificada e a condição anterior, mesmo que muito diferentes do sistema original.

Muitos têm sido os termos utilizados para designar os processos naturais e artificiais de reparação de danos ambientais. Entretanto, somente na década de 1980, com o desenvolvimento da ecologia da restauração como ciência, o termo restauração ecológica passou a ser mais claramente definido, com objetivos mais amplos e passando a ser o mais utilizado no mundo nos últimos anos (ENGEL & PARROTTA, 2003).

O termo reabilitação (do inglês “rehabilitation”) vem sendo utilizado no Brasil e principalmente na esfera da mineração para descrever ações sobre ecossistemas degradados que promovam a restauração do solo e da parte biótica, principalmente a revegetação, sem a preocupação de retorno ao ecossistema original, criando ambientes diferentes.

O termo recuperação (equivalente ao inglês “reclamation”) é mais usado no país, adotado com sentido amplo. O Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração (MINTER/IBAMA, 1990) define recuperação como “o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido de uso do solo”, que pode ser diferente de sua condição original.

O conceito que precisa ser discutido é o de Restauração (“restoration”) freqüentemente utilizado dentro do seu sentido restrito, significando o retorno ao estado original do ecossistema (MINTER/IBAMA, 1990; BROWN & LUGO, 1994). Com este enfoque, no Brasil predominam o uso dos termos recuperação e reabilitação ao invés de restauração (ENGEL & PARROTTA, 2003).

A definição adotada pela “Society for Ecological Restoration” considera que restaurar um ecossistema não é copiar exatamente um modelo na natureza, mas sim recuperar a estabilidade e integridade ecológica dos ecossistemas naturais. Restaurar integralmente os ecossistemas naturais está muito além da nossa capacidade e retorná-lo ao seu estado original é impossível, devido às características dinâmicas dos mesmos (ENGEL & PARROTTA, 2003).

Na realidade, as técnicas utilizadas na recuperação, reabilitação e restauração são praticamente as mesmas, a diferença está na escala de tempo adotada e das metas e objetivos definidos anteriormente. O objetivo ideal de uma recuperação, restauração ou reabilitação das áreas degradadas é restabelecer o complexo sistema ecológico sustentável de um ecossistema. Para isso é necessário realizar medidas de curto, médio e longo prazo, desde a total intervenção antrópica até o restabelecimento de um ambiente estável que não precise de nenhum tipo de manutenção ou monitoramento humano.

O monitoramento é o conjunto de ações ou procedimentos destinados a avaliar o sucesso ou avanço da restauração de uma área degradada, e ele pode ser aperfeiçoado com a utilização de critérios e indicadores ambientais (ALMEIDA, 2002).

Para alcançar tal objetivo é indispensável a identificação de fortes ferramentas biológicas que possam capturar efetivamente a diversidade e complexidade do ecossistema (HAMBURG *et al.*, 2004), criando um mecanismo efetivo para o monitoramento,

qualitativo e quantitativo. E, aliado à restauração sob os aspectos físicos, químicos pedológicos e topográficos, constitui a base para todo o processo de reabilitação de áreas degradadas pela mineração.

Alguns conceitos e princípios biológicos serão apresentados a seguir para elucidar os processos que ocorrem na natureza, e que influenciam direta ou indiretamente a degradação e a recuperação dos ecossistemas.

Denomina-se comunidade biótica, ou simplesmente comunidade, a reunião das várias espécies que ocorrem juntas num dado trato de terra ou volume de água (TOWNSEND *et al.*, 2006). As condições para uma comunidade reunir-se dependem tanto de fatores dependentes da biodiversidade e da densidade, isto é, dos nichos existentes, quanto dos fatores do habitat. O nicho ecológico pode ser considerado como as relações positivas ou negativas entre as populações de uma comunidade.

Já a biodiversidade é a contração da expressão diversidade biológica, e engloba a variação de todas as formas de vida e em todos os níveis em que ela se manifesta, ou seja, dos genes às comunidades e ecossistemas. A diversidade biológica é considerada um tema central da ecologia e apresenta grande aplicação nos campos de monitoramento e conservação ambiental, onde é utilizada como um indicador da qualidade ambiental.

O uso dos recursos naturais tem afetado de diferentes formas a biodiversidade, especialmente por meio de fragmentação de habitats naturais. Fragmentos de habitat podem ser naturais ou geralmente causados ou intensificados pela ação antrópica. O processo de redução e isolamento da vegetação natural, conhecido por fragmentação de habitat, tem conseqüências sobre a estrutura e os processos das comunidades vegetais.

O processo global de fragmentação de habitat é, possivelmente, a mais profunda alteração causada pelo homem no meio ambiente. Muitos habitats naturais que eram quase contínuos foram transformados em paisagens semelhantes a um mosaico, composto por manchas isoladas de habitat original. Para HARRISON *et al.* (1988), existem três principais categorias de mudanças que têm se tornado freqüentes nas florestas do mundo: 1) a redução na área total da floresta; 2) a conversão de florestas, naturalmente estruturadas, em plantações e monoculturas e, 3) a fragmentação progressiva de remanescentes de florestas

naturais em pequenas manchas, isoladas por plantações ou pelo desenvolvimento agrícola, industrial ou urbano. É um processo que ocorre na Europa desde há muito tempo e que aumentou, particularmente, a partir do século XIX. Esse mesmo processo vem ocorrendo no Brasil desde a sua conquista pelos europeus (RAMBALDI & OLIVEIRA, 2003).

A desestabilização ecológica é um dos resultados do impacto gerado pela mineração, assim como a alteração da topografia original, alterações físicas, químicas e hidrológicas, distúrbios na paisagem e principalmente a remoção do ecossistema original. Provocando uma mudança em todas as relações ecológicas, acarretando uma brusca redução da biodiversidade, alteração no equilíbrio das populações e comunidades de animais e plantas, sendo um dos mais sérios danos provocados nesse sentido é a fragmentação do habitat.

À medida que ocorre a reabilitação dos locais minerados são criados novos habitats e, gradualmente os processos e as riquezas de um sistema ecológico vão sendo restaurados (Figura 1). É de essencial importância a conexão de fragmentos de ecossistemas remanescentes nas áreas próximas á degradada (SKLENICKA & CHARVATOVA, 2003). Essas ligações são chamadas de corredores ecológicos e ocasionam um aumento na velocidade, na qualidade e no sucesso do novo habitat, quanto à dispersão e estabelecimento de novas espécies.

A restauração da conectividade seria uma das formas de garantir a existência de um fluxo mínimo entre os remanescentes de vegetação natural, de forma a viabilizar a manutenção de uma biodiversidade relativamente alta em áreas produtivas e/ou degradadas (METZGER, 2003).

Os sistemas ecológicos são governados por alguns princípios básicos. Esses sistemas integrados funcionam de acordo com as leis da termodinâmica, transformações físicas e químicas, (como a difusão de oxigênio); o meio ambiente físico exerce uma influência controladora na produtividade dos sistemas ecológicos; a estrutura e a dinâmica das comunidades ecológicas são reguladas pelos processos populacionais e através das gerações; e os organismos respondem às mudanças no meio ambiente através da evolução dentro das populações (RICKLEFS, 1998).

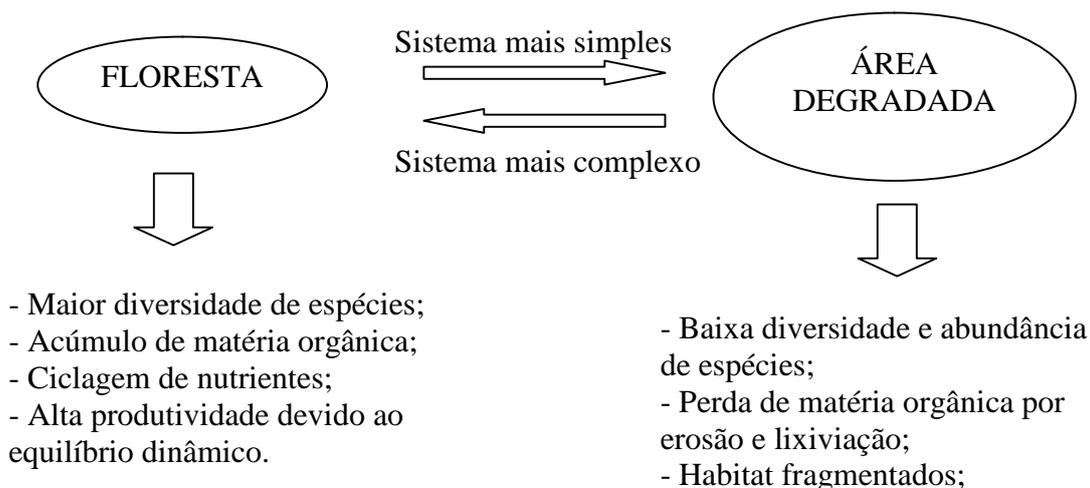


Figura 1: Caracterização esquemática da dinâmica dos sistemas: floresta e degradado. (Fonte: Modificado de RAMBALDI & OLIVEIRA, 2003).

Em um ambiente florestal em equilíbrio, a alta produtividade é resultado da dinâmica e da ciclagem dos nutrientes dentro do sistema (Figura 1): nutrientes das folhas que caem, dos ramos, dos frutos, de árvores tombadas e até da própria água da chuva que atravessa a copa das árvores.

Para METZGER (2003) nenhuma ação de restauração tem por objetivo retornar às condições de uma paisagem não alterada pelo Homem, pois o ideal é conciliar as áreas produtivas e sustentáveis com as áreas de conservação biológica.

Os indicadores biológicos, também denominados indicadores ecológicos, ou simplesmente bioindicadores vêm sendo utilizados na mineração como instrumento da restauração ambiental destas áreas. As pesquisas utilizando bioindicadores têm conquistado mais espaço nas últimas décadas. Estudos de diversidade e comunidade são tradicionalmente utilizados para avaliar a qualidade biológica do ambiente, e utilizando como ferramenta os indicadores biológicos. Eles fornecem índices, que refletem traços do impacto ecológico, fatores de estresses e atividades antropogênicas (VASSEUR & COSSU-LEGUILLE, 2003).

Os indicadores ecológicos podem ser usados para avaliar a condição do meio ambiente, fornecendo um sinal precoce de advertência das mudanças no meio ambiente, e para diagnosticar a causa do problema ambiental. Idealmente o conjunto de indicadores fornece um simples e eficiente método de informação representativa sobre a estrutura, função e composição do complexo sistema ecológico, além de serem utilizados para quantificar a magnitude do estresse, os graus de exposição ao estresse e o grau da resposta ecológica a exposição (DALE & BEYELER, 2001).

Os bioindicadores são utilizados em vários níveis hierárquicos dentro do sistema ecológico, desde os organismos até nos distúrbios da paisagem (Tabela 3).

Tabela 3: Exemplos de componentes e indicadores para a integridade ecológica.

Hierarquia	Processo	Indicadores Sugeridos
Organismo	Toxicidade Ambiental Mutagênese	Deformação Física Lesões Carga Parasita
Espécies	Grande expansão ou contração Extinção	Tamanho e alcance das espécies Nº da população
População	Oscilação abundância Colonização ou extinção	Estrutura da idade ou tamanho Comportamento da dispersão
Ecosistema	Exclusão Competitiva Predação ou parasitismo Baixa energia	Riqueza espécies Igualdade de espécies Números de níveis tróficos
Paisagem	Distúrbio Sucessão	Fragmentação Distúrbio espacial das comunidades Persistência de habitats

(Fonte: DALE & BEYELER, 2001).

O critério para a seleção de indicadores efetivos é a chave para o sucesso de algum programa de monitoramento. Em geral, indicadores ecológicos necessitam de capturar as complexidades do ecossistema, mas ainda devem continuar, simples o suficiente, para ser facilmente mensurado e freqüentemente monitorado.

Segundo DALE & BEYELER (2001), as características dos indicadores ecológicos incluem:

- A facilidade de mensuração;

- A sensibilidade ao estresse no sistema;
- A resposta ao estresse de uma maneira previsível;
- São antecipadores: significa uma mudança iminente no sistema ecológico;
- Prevê mudanças que podem ser evitadas por ações de controle;
- São integrados: o conjunto completo de indicadores fornece uma medida da cobertura que são gradiente chave através dos sistemas ecológicos (solos, tipos de vegetação, temperatura, etc.);
- Uma resposta conhecida para distúrbios naturais, estresse antropogênico e mudanças sobre o tempo;
- Baixa variabilidade na resposta.

Os organismos utilizados como indicadores ecológicos tendem a variar de acordo com a área perturbada, tipo de mineração, o nível de impacto, o tipo de reabilitação implantada, e as respostas esperadas dos bioindicadores, ou seja, para mineração existe uma espécie específica. Mas algumas classes se destacam nessa função. Entre eles estão os invertebrados terrestres, as plantas e animais aquáticos.

A recuperação da vegetação geralmente é a primeira a ser realizada nas áreas degradadas a fim de restabelecer a composição da área e desenvolvendo um novo habitat. As plantas que são utilizadas como bioindicadores possuem a capacidade de acumular ou de tolerar altas concentrações de metais no solo. Elas têm sido usadas como indicadores ecológicos em toda a área de degradação pela mineração, inclusive em barragem de rejeitos (Tabela 4).

As plantas que crescem em solos metalíferos podem desenvolver genótipos e estruturas internas e externas tolerantes a metais (SHU *et al*, 2005). O sucesso das plantas bioacumuladoras de metais dependem de três fatores: o grau de contaminação de metal no solo; o grau de biodisponibilidade (aspectos químicos e físicos) e a capacidade das plantas de acumular os metais nas raízes (ERNST, 1996).

A colonização animal e a formação de padrões espaciais de comunidades animais têm sido amplamente estudada dentro do sistema de numerosas teorias ecológicas (BRÖRING *et al.*, 2005). A primeira imigração para área amplamente perturbada deve ser uma colonização bem sucedida, pois no processo de reflorestamento na mineração os solos são de central importância para restauração da atividade e produtividade biológica. Protistas,

Microrganismos e Invertebrados do solo são uma parte importante dessa rede alimentar terrestre, influenciando direta e indiretamente microflora do solo, predadores, e desenvolvimento do solo (WANNER & DUNGER, 2001).

Tabela 4: Indicadores biológicos utilizados na mineração como ferramenta do monitoramento ambiental.

(Fontes: ¹ WANNER & DUNGER, 2001; ² DUNGER & WANNER, 2001; ³ ANDERSEN

BIOINDICADOR	MINERAÇÃO	CONTROLE	LOCAL	FECHADO	DURAÇÃO ESTUDO
AMEBA (Protista) ¹	Carvão	Pilha de Estéril	Alemanha	Sim	1996-1998
INVERTEBRADOS TERRESTRES ²	Carvão	Cava	Alemanha	Sim	46 anos
FORMIGAS ³	Carvão	Áreas Reabilitadas	Austrália	Sim	2001
FORMIGAS ⁴	Carvão	Barragem Rejeitos das cinzas	África do Sul	Não	1997-1999
MAMÍFEROS ⁵ (Roedores)	Carvão	Cava	Alemanha	Sim	1995-1997 e 2001-2002
ARTHROPODA ⁶	Carvão	Cava	Alemanha	Sim	1995-1996
HETEROPTERA ⁷	Carvão	Cava	Alemanha	Sim	1995-1996
BRIÓFITAS ⁸	Al/Fe	Bacia de drenagem - Água Ácida da Mina	Estados Unidos	Sem informação	1993
FAUNA BENTÔNICA ⁹	Cobre	Barragem Rejeito	Canadá	Sim	29 anos
PLANTAS e Ciclagem de nutrientes ¹⁰	Ouro Urânio	Pilha de estéril	Austrália	Sim	1992-1996 1984-1995
PLANTAS ¹¹	Pb/Zn	Barragem de rejeito	China	Não	1995-1997
FITOPLÂNCTON e ZOOPLÂNCTON ¹²	Linhito (Água ácida)	Lagos na cava	Alemanha	Sim	Sem informação

et al., 2003; ⁴ HAMBURG *et al.*, 2004; ⁵ RATHKE & BRÖRING, 2005; ⁶ BRÖRING *et al.*, 2005; ⁷ BRÖRING & WIEGLEB, 2005; ⁸ ENGLEMAN & McDIFFETT, 1996; ⁹ BURD, 2001; ¹⁰ LUDWIG *et al.*, 2003; ¹¹ SHU *et al.*, 2005; ¹² Nixdorf *et al.*, 2005).

Invertebrados terrestres são ótimos candidatos para indicadores biológicos porque eles são ubíquos, diversos, fácil amostragem, e ecologicamente importantes (ANDERSEN, 1997). Os invertebrados possuem condições ideais de satisfazer a esta tarefa por causa da grande abundância, diversidade, e importância funcional nos ecossistemas (ROSENBERG *et al.*, 1986; MAJER, 1989). Geralmente respondem rapidamente as mudanças ambientais e fornecem uma detecção adiantada das mudanças ecológicas (KREMEN *et al.*, 1993). Eles representam funções em ambientes naturais como decompositores, predadores, parasitas, herbívoros, e polinizadores, e eles respondem a várias perturbações (ROSENBERG *et al.*, 1986). Adicionalmente, certos táxon (como abelhas, borboletas e formigas) respondem aos efeitos dos distúrbios humanos e naturais (NIEMELA *et al.*, 1993; ANDERSEN, 1997; BLAIR & LAUNER, 1997; SPITZER *et al.*, 1997; RODRIGUEZ *et al.*, 1998).

A indústria mineral da Austrália tem adotado amplamente formigas como invertebrados indicadores chave na reabilitação da área minerada (ANDERSEN, 1997; MAJER & NICHOLS, 1998). Isto se deve a dominância ecológica das formigas em ecossistemas terrestres (MAJER, 1983) e porque a sua dinâmica da comunidade em relação a perturbação são bem conhecidos (ANDERSEN, 1997). Padrões da colonização de uma mina por formigas têm mostrado como refletem outros grupos de invertebrados, assim como às mudanças chaves em processos dos ecossistemas como ciclo de nutrientes (MAJER, 1983; ANDERSEN, 1997).

O conhecimento sobre as formigas nos locais de depósito é extremamente importante na concepção da função de formação do solo, ciclo de nutrientes, dispersão de sementes e como alimento para animais insetívoros (HOLEC & FROUZ, 2005). A técnica utilizada normalmente é comparar riqueza e composição das espécies de formiga nas minerações que sofrem processos de reabilitação com áreas próximas, os locais não perturbados são tomados como referência, pois possuem alta similaridade indicando uma restauração do ecossistema mais bem sucedido (ANDERSEN *et al.*, 2003). O sucesso das espécies que invadem as áreas reabilitadas depende da composição de espécies presentes em seu habitat de origem nas regiões vizinha (SKLENICKA & CHARVATOVA, 2003).

Os organismos aquáticos, principalmente as comunidades de fitoplâncton e zooplâncton, podem ser usados como intrigantes e simples indicadores, para diferentes tipos e níveis de água ácida em lagos e barragens na mineração. Eles são utilizados como bioindicadores

pela capacidade de tolerar e se adaptar a baixos índices de pH (potencial Hidrogeniônico) e pela capacidade de algumas populações serem também tolerantes a metais pesados (NIXDORF *et al.*, 2005).

Um objetivo frequentemente aceitável para a reabilitação da área minerada é de restaurar a estrutura, diversidade, função e dinâmica do ecossistema perturbado, para todas essas características os indicadores ecológicos representam uma função primordial (MAJER & NICHOLS, 1998), pois todos os organismos (plantas e animais) vão retornar e recolonizar as áreas depois de terminada a atividade mineral (RATHKE & BRÖRING, 2005).

Outras técnicas estão sendo desenvolvidas e aplicadas no monitoramento ambiental de áreas degradadas pela mineração na fase do fechamento de uma mina devido à necessidade de mensurar o nível de recuperação conquistado e de estabelecer critérios para considerar uma área ambientalmente recuperada pós-mineração. Como exemplo dessas ferramentas utilizadas mundialmente podemos citar a Ecologia de Paisagem, a Ecologia Industrial e a Análise de Função do Ecossistema (EFA), a Ecotecnologia e a Biologia da Conservação.

A Ecologia de Paisagem é uma nova área de conhecimento dentro da ecologia, que utiliza imagens de satélite, fotografias aéreas e geoprocessamento para analisar a influência antrópica na paisagem e a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos (METZGER, 2001). METZGER (1999, 2001) define a paisagem como um mosaico heterogêneo, composta por um complexo de unidades interativas (ecossistemas, vegetação, geologia, clima, uso e ocupação do solo), que é visto pelo homem (abordagem geográfica) e pelo olhar das espécies e comunidades estudadas (abordagem ecológica).

O objetivo desta ciência é recuperar áreas degradadas pela ação antrópica, como construção de estradas, reservatórios, mineração, agropecuária e desmatamento, utilizando a teoria de fragmentação e conectividade dos habitats, e realizar um planejamento ambiental de maneira a fragmentar o ambiente da forma correta e inteligente (METZGER, 1999).

Este método forma um componente chave para o desenvolvimento de um novo conceito de ecologia, voltado na prática, para as questões do mundo real, sendo essencial para descrever, analisar, prever e obter, antecipadamente, informações sobre as transformações

negativas do ecossistema global como uma consequência do crescente desenvolvimento humano nas diversas partes do mundo (BOGAERT, 2001).

A Ecologia Industrial é o campo de pesquisa científica mais recente e que ainda está em desenvolvimento teórico e prático, mas que vale a pena ser citado justamente por se tratar de uma novidade para monitoramento ambiental. Este novo método estuda as interações físicas, químicas e biológicas e a relação deles com o sistema industrial e ecológico. Esta metodologia de trabalho tem por objetivo integrar um grande número de processos, econômicos, ambientais e de saúde e segurança, para otimizar a utilização dos recursos naturais, evitar a poluição e criar um ambiente de desenvolvimento sustentável (BASU & van ZYL, 2006).

Já a Análise de Função do Ecossistema (EFA) é resultado de um trabalho de muitos anos realizado na Austrália com o objetivo de avaliar a restauração de áreas antes ocupadas pela mineração. Este estudo faz parte de um programa chamado Indicadores do Sucesso na Reabilitação de Ecossistemas (“Indicators of Ecosystem Rehabilitation Success”) e é um procedimento para o monitoramento de ecossistemas que estabelece como está o sistema biofísico. É simples de usar e foca nos indicadores do solo ao contrário dos programas de monitoramento que focam na presença e abundância de uma biota selecionada (TONGWAY & HINDLEY, 2003).

O EFA utiliza três procedimentos como metodologia, a Análise de função da paisagem (LFA), a Complexidade do habitat e a Dinâmica vegetacional. A primeira utiliza dois passos: a estratificação e caracterização da paisagem, e a condição e análise do solo (infiltração, estabilidade, composição, ciclagem de nutrientes, etc).

A complexidade do habitat é mensurada através da cobertura vegetal de árvores, arbustos e gramíneas; da quantidade matéria orgânica e de água disponível no ambiente. E a dinâmica vegetacional é calculada através de índices de desenvolvimento estrutural e composição de espécies. Para realizar todas as amostragens, de solo, vegetação e complexidade de habitat, existe um manual de procedimentos de campo com as informações de coleta, planilhas de dados feito pelos autores TONGWAY & HINDLEY (2004) que é de extrema importância para o desenvolvimento da análise de função de ecossistemas.

Estas novas metodologias e estudos que estão sendo desenvolvidos vão auxiliar os programas de recuperação ambiental e com o passar dos anos e com a realização dos experimentos práticos no Brasil, esta técnica pode de tornar uma medida efetiva para mensurar o nível e o sucesso da reabilitação e poderão ser utilizados como referência para órgãos ambientais e empresas de mineração.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 FECHAMENTO DE MINA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Diversas minas encontram-se abandonadas, fechadas ou em fechamento em Minas Gerais. Embora o número de minas fechadas em Minas Gerais seja grande, quando se considera minas de pequeno e médio porte, existe uma dificuldade enorme para estimá-lo de forma mais precisa. As razões para isso são as dificuldades de obtenção de informações nos órgãos governamentais, mais precisamente o DNPM e a FEAM. Quadro deficiente de pessoal, não informatização dos dados e falta de uma política de fechamento de mina são os principais motivos.

De acordo com os critérios adotados neste levantamento foram detectados oito minas fechadas e/ou em fase de fechamento, não considerando minas abandonadas devido à dificuldade de assim classificá-las. Tampouco, os órgãos governamentais têm uma metodologia para isso. As minas serão apresentadas na Tabela 5 e localizadas conforme demonstrado na Figura 2 e na Figura 3.

As minas de pequeno porte visitadas, como a Mina de Pequeri e Mina Fundão ou Chá, ambas de manganês e a Mina Del'Rey (ferro e ouro), atualmente pertencentes a CVRD, não foram incluídas nos resultados devido a grande dificuldade de conseguir dados confiáveis para o estudo.

A Mina Del'Rey, em processo de reabilitação ambiental, encontra-se paralisada com perspectiva de ser retomada a exploração de minério de ferro.

Tabela 5: Principais Minas Fechadas e em Fechamento no Estado de Minas Gerais.

	MINA	EMPRESA RESPONSÁVEL	CIDADE	MINÉRIO	FECHAMENTO
1	MINA DE ÁGUAS CLARAS	Minerações Brasileiras Reunidas - MBR	Nova Lima	Ferro	2001
2	MINA DA MUTUCA	Minerações Brasileiras Reunidas - MBR	Nova Lima	Ferro	2001
3	MINA DE CAETÉ	Companhia Vale do Rio Doce - CVRD	Caeté	Ouro	2000
4	MINA RIACHO DOS MACHADOS	Companhia Vale do Rio Doce - CVRD	Riacho dos Machados	Ouro	1997
5	MINA DO PIÇARRÃO	Companhia Vale do Rio Doce - CVRD	Nova Era	Ferro	Encerrada em 1985/Fechada em 2003
6	MINA OSAMU UTSUMI	Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN	Caldas	Urânio	Fechada/ Tratamento ativo devido à drenagem ácida.
7	MINA VELHA	Anglo Gold Ashanti	Nova Lima	Ouro	Em fechamento
8	MINA DE GERMANO	Samarco Mineração S/A	Mariana	Ferro	Encerrada em 1992/Em Fechamento

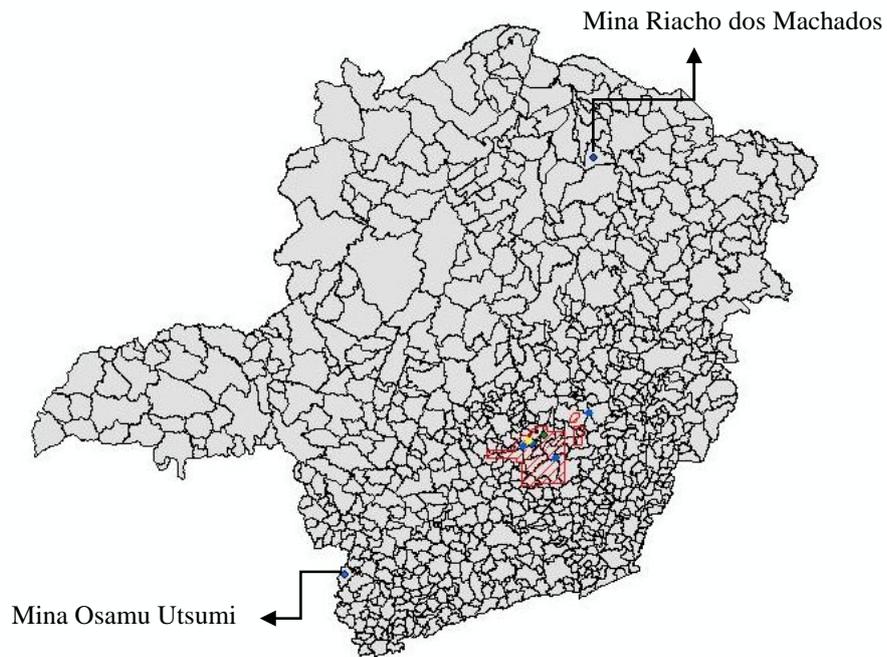


Figura 2: Mapa de Minas Gerais mostrando as minas georeferenciadas.

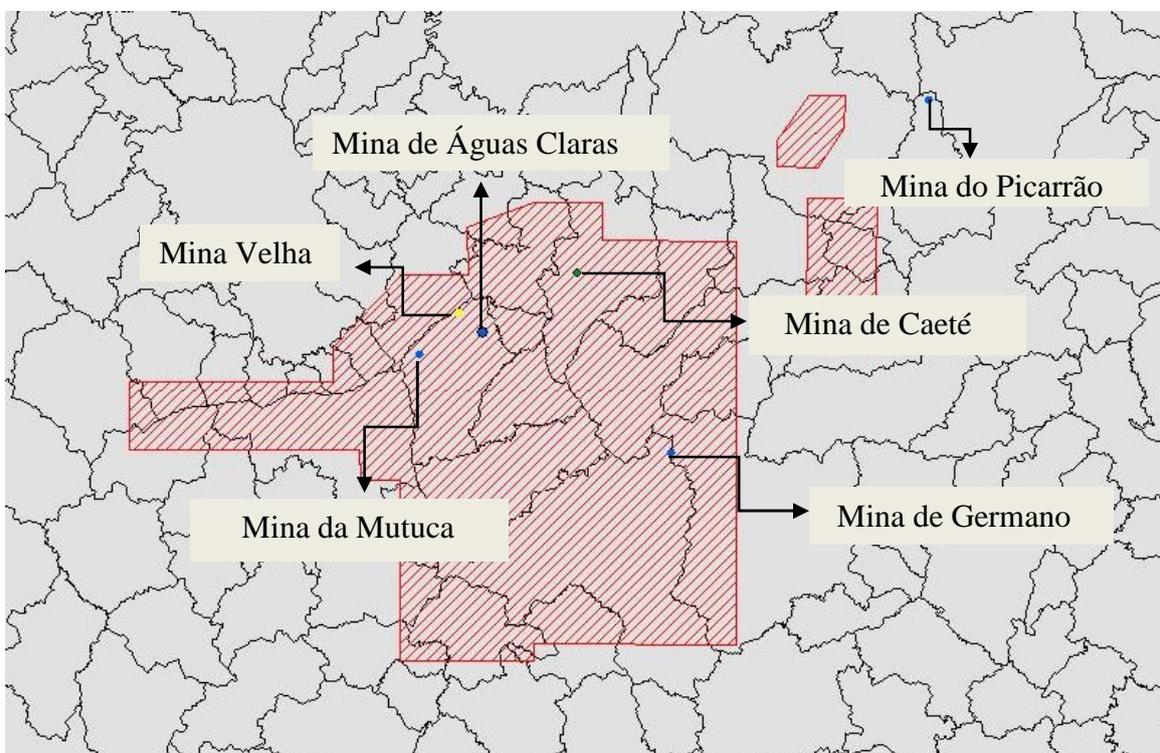


Figura 3: Detalhe do Quadrilátero Ferrífero mostrando as minas georeferenciadas.

3.1.1 MINA DE ÁGUAS CLARAS

A mina de Águas Claras pertencente à companhia Minerações Brasileiras Reunidas – MBR, 5ª maior exportadora de minério de ferro do mundo, iniciou suas atividades em 1973 e encerrou a produção em 2002. A cava principal teve as operações de lavra encerradas em setembro de 2001. Ao longo de 29 anos de vida útil, Águas Claras produziu 290 milhões de toneladas de hematita e 200 milhões de toneladas de estéril. O programa de fechamento da mina de Águas Claras merece destaque por ser a primeira grande mina a ser propriamente fechada no Brasil e estar situada a 14 km do centro de Belo Horizonte. Além disso, a característica física do local é o grande atrativo com destaque para a Reserva Natural do Jambreiro numa área de 912 hectares pertencente à MBR e o lago a ser formado na extinta cava (240 metros de profundidade). Do ponto de vista legal o processo de fechamento da mina de Águas Claras tornou-se bastante evidente por coincidir com a discussão e processo de regulamentação do fechamento de mina no país. O programa de fechamento da mina de Águas Claras envolveu uma série de estudos incluindo:

- potencial de uso futuro da área – Design Workshop (1992)
- prognóstico de qualidade da água do lago – (1993)
- análise de comportamento dos taludes da cava durante enchimento do lago – 1996, revisão em 2001 (Golder)
- verificação dos passivos para fins de fechamento

Estes estudos serviram de base para a elaboração do plano de fechamento que, após concluído, passou por auditorias nacional e internacional, antes de ser encaminhado ao órgão ambiental do estado de Minas Gerais – FEAM.

O programa de fechamento completo da mina de Águas Claras envolveu:

- Programa de comunicação social;
- Programa de fechamento e estabilização das áreas da mina, pilhas de estéril e barragens de rejeitos;
- Programa de fechamento e estabilização de encostas nas áreas industriais e encostas naturais;
- Programa de aproveitamento da infra-estrutura existente;
- Programa de desmontagem e demolição;
- Plano de contingência para riscos ambientais detectados;

- Programa de descontaminação /reabilitação ambiental;
- Programa de preservação da biodiversidade;
- Programa de monitoramento ambiental;



Figura 4: Vista geral da cava da Mina de Águas Claras sendo preenchida com água (2005).



Figura 5: Ilustração do lago a ser formado na cava e da revegetação nos taludes e áreas próximas a cava (Fonte: MBR).



Figura 6: “Layout da Águas Claras Village” – Projeto inicial de uso futuro da área (Fonte: MBR).

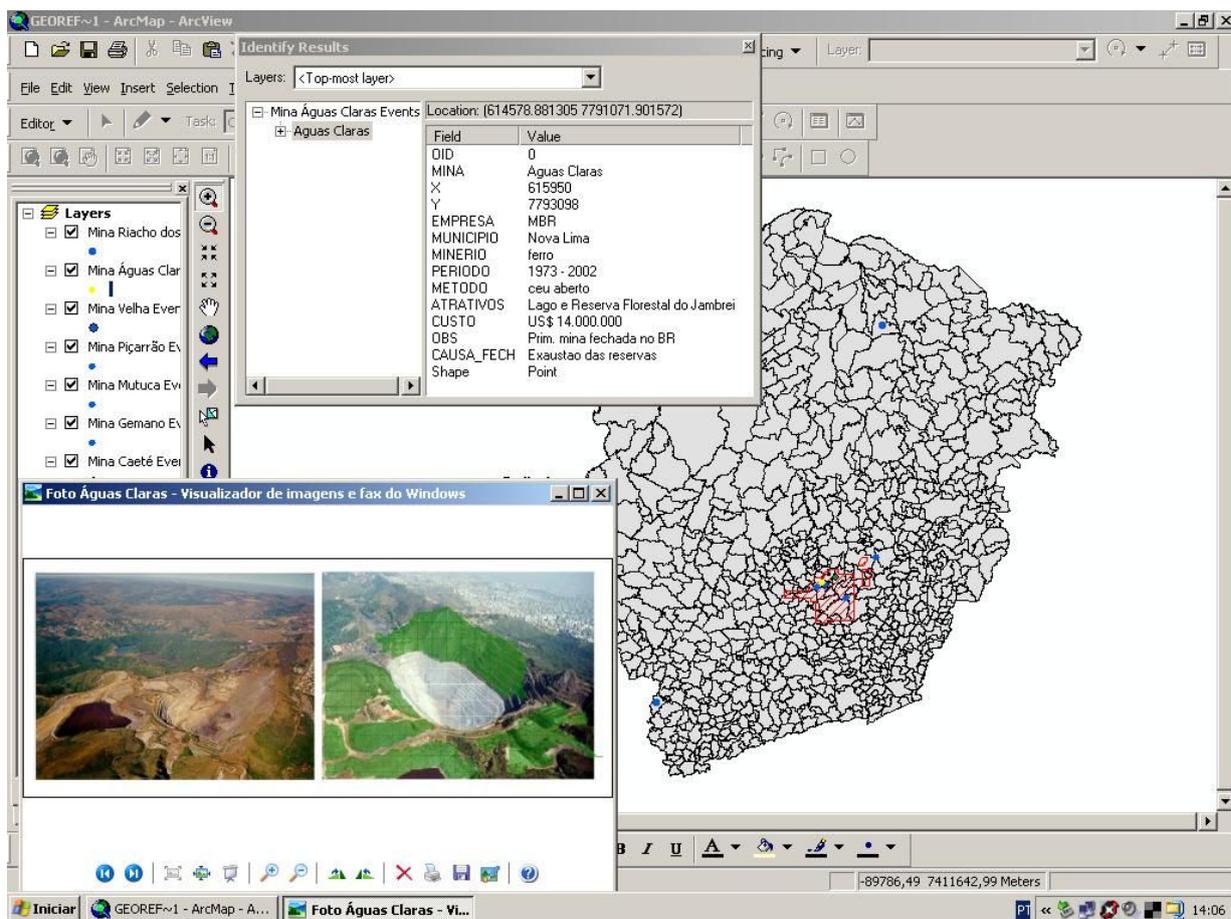


Figura 7: Layers em ArcGIS da Mina de Águas Claras.

3.1.2 MINA DA MUTUCA

As operações de lavra a céu aberto da mina da Mutuca deram origem a uma cava com 1.600 m de comprimento, 800 m de largura e 350 m de profundidade que será “topograficamente recuperada” através da disposição no seu interior do estéril removido da mina de Capão Xavier e dos rejeitos produzidos na usina de beneficiamento da própria Mutuca (Figura 8).

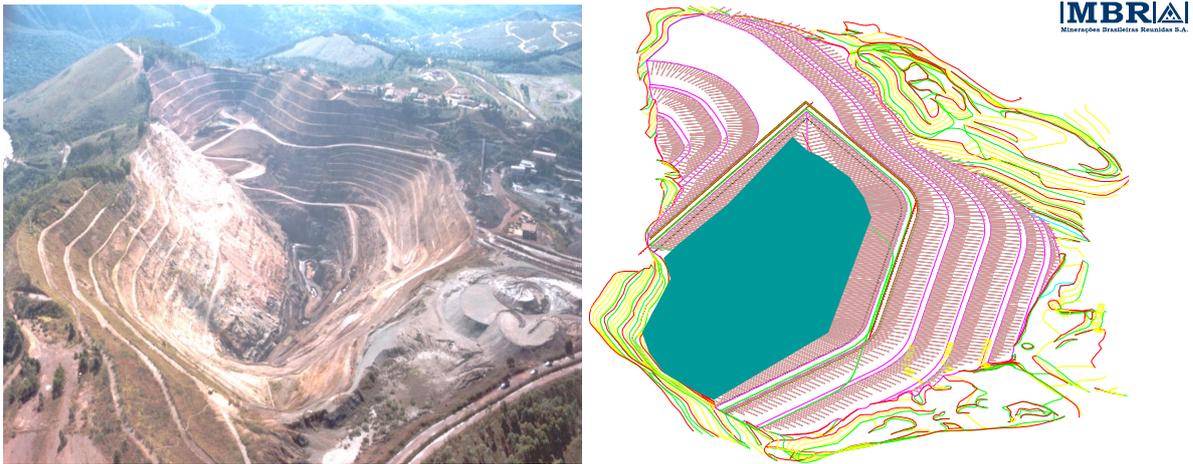


Figura 8: Vista aérea da cava da mina da Mutuca (esquerda) e projeto de reconformação topográfica (direita) (Fonte: MBR).

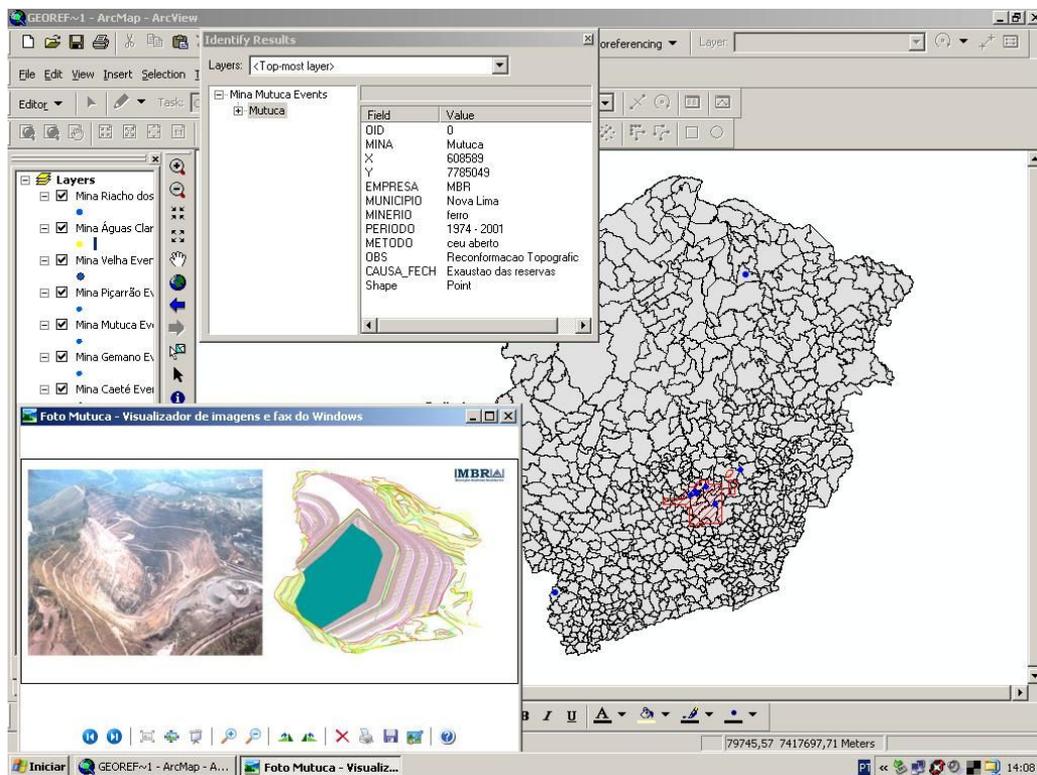


Figura 9: Layers em ArcGIS da Mina da Mutuca.

3.1.3 MINA DE CAETÉ

A mina de ouro de Caeté da CVRD operou de junho de 1996 a 2001, em lavra a céu aberto, com o minério sendo tratado através de lixiviação em pilhas. Foram movimentadas 1.359.000 t de minério, 10.700.882 t de estéril, com uma produção de 2.110 Kg de ouro. As atividades de reabilitação dos 79 hectares degradados pelas operações da mina de Caeté (Figura 10), tiveram início em 2002 estendendo-se ao longo do ano de 2003. Para o programa de monitoramento e manutenção previu-se 5 anos.



Figura 10: Imagens antes (2001) e depois (2006) da reabilitação ambiental em taludes na mina de Caeté (Figura de 2001: CVRD).

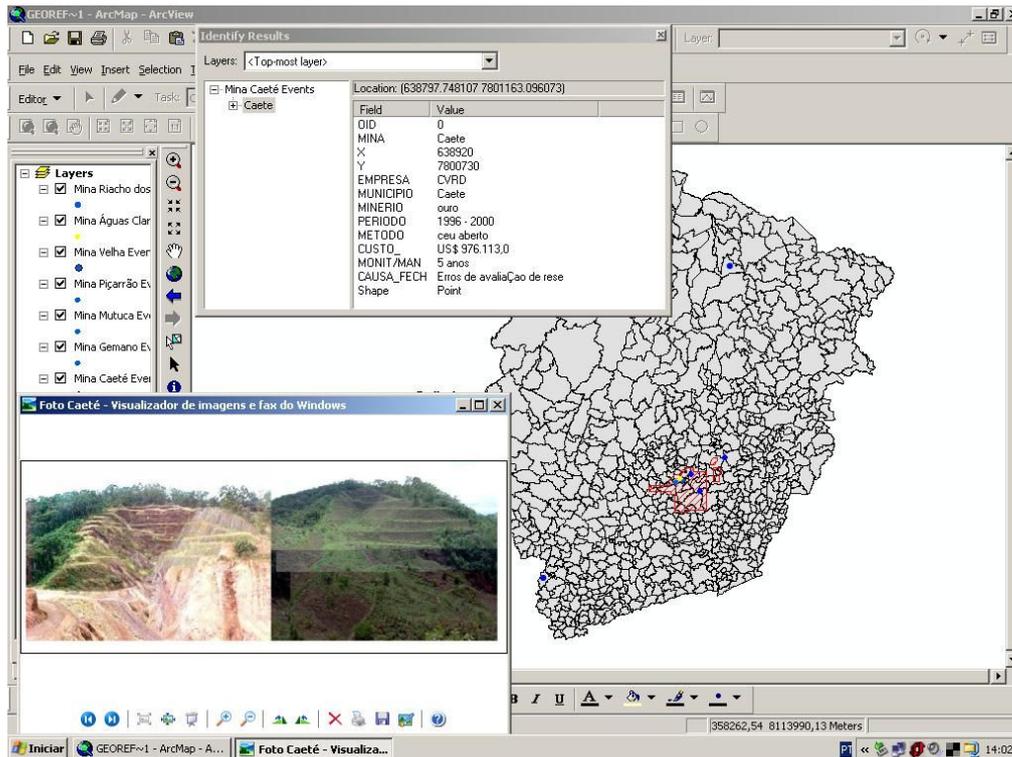


Figura 11: Layers em ArcGIS da Mina Caeté.

3.1.4 MINA RIACHO DOS MACHADOS

A mina de Riacho dos Machados iniciou suas atividades em 1989 e encerrou em 1997, com lavra a céu aberto. O minério foi tratado por lixiviação em pilhas. Neste período foram movimentados 3.220.000 t de minério, 6.878.739 t de estéril e produzidos 4.825 Kg de ouro. As atividades de reabilitação dos 60 hectares foram executadas no ano de 2002, sendo também planejados cinco anos para as atividades de monitoramento e manutenção, Figura 12.



Figura 12: Áreas em reabilitação (2002 e 2006) na mina de Riacho dos Machados (Fonte: CVRD).

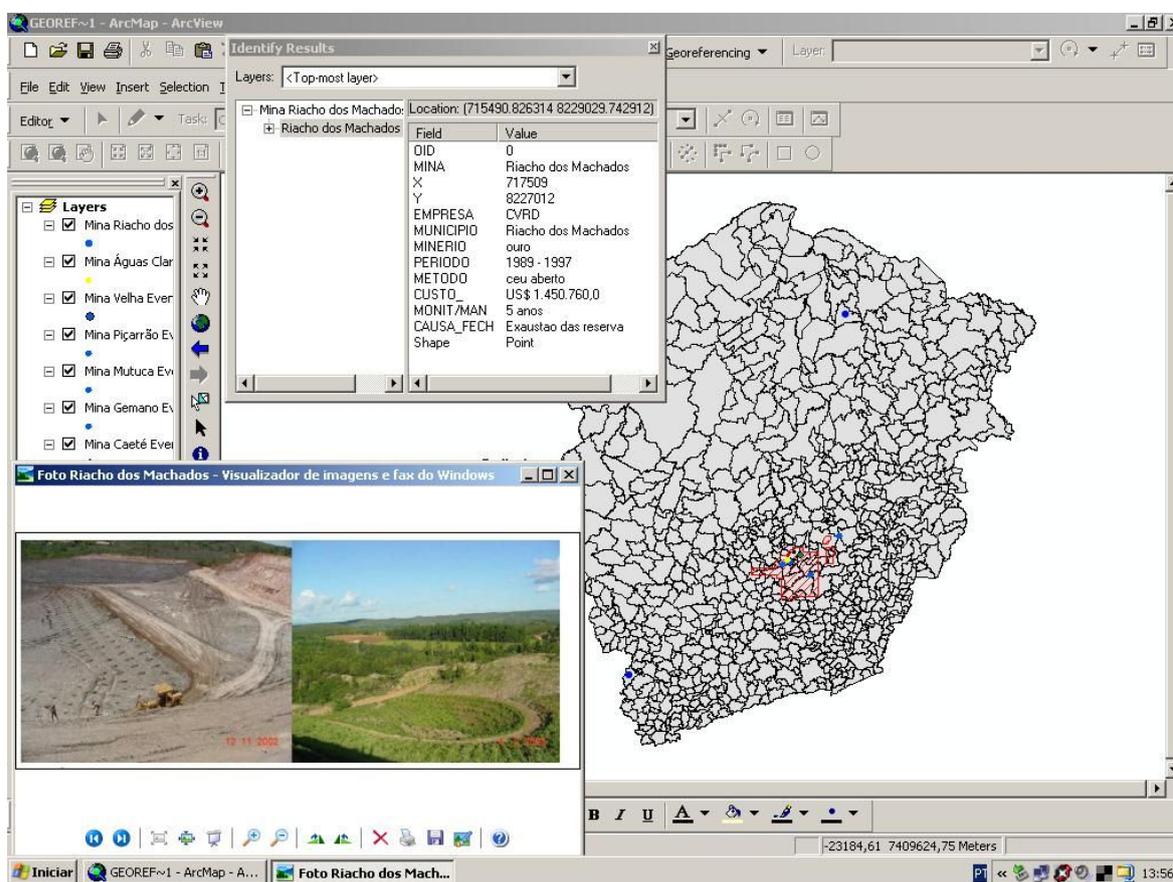


Figura 13: Layers em ArcGIS da Mina Riacho dos Machados.

3.1.5 MINA DO PIÇARRÃO

A mina de ferro de Piçarrão (CVRD) operou de 1976 a 1985. A partir de 1985 foram realizados pequenos serviços de reabilitação ambiental. Entretanto, um programa definitivo de reabilitação somente teve início em 2000 e encerramento em 2003, seguido de um programa de monitoramento e manutenção previsto para três anos. A área reabilitada totalizou 160 ha. A Figura 14 mostra as atividades da recuperação de uma voçoroca no talude da mina. As medidas de reabilitação adotadas para a mina de Piçarrão compreenderam duas atividades principais, a saber: a recuperação vegetal e reabilitação das voçorocas (Figura 15) e a implementação de sistemas de drenagem superficial e contenção de sedimentos, incluindo as obras nos trechos ameaçados da estrada.



Figura 14: Imagens antes (2000) e depois (2002) da reabilitação ambiental de taludes na mina de Piçarrão (Fonte: CVRD).

As voçorocas foram tratadas utilizando técnicas de contenção de sedimentos e de bioengenharia. Foram realizadas paliçadas e a regularização das superfícies laterais da voçoroca para reter os sedimentos. A proteção da superfície foi realizada através da aplicação de telas vegetais biodegradáveis nas cabeceiras e encostas.

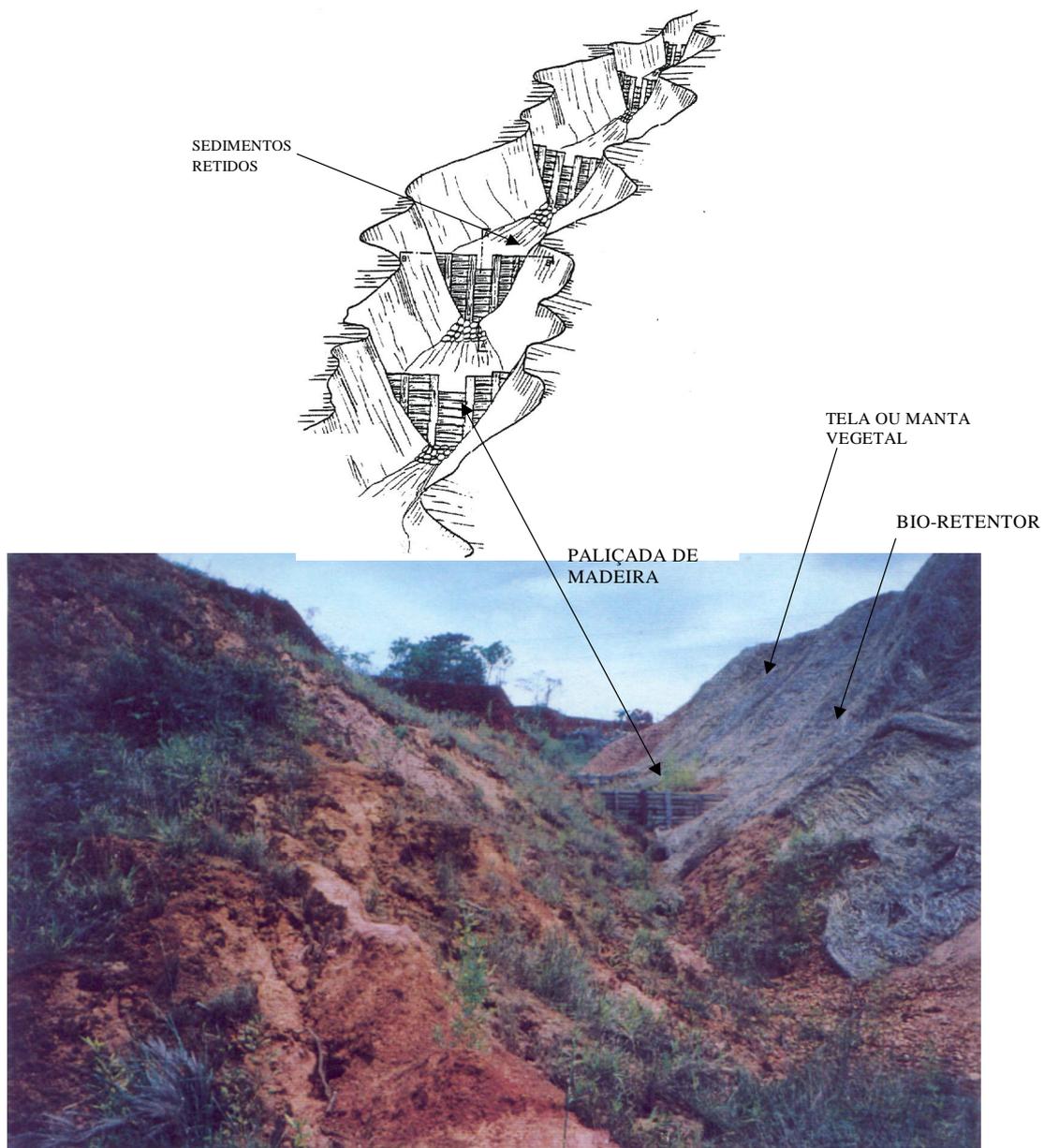


Figura 15: Vista geral de aplicação das técnicas de bioengenharia em uma voçoroca da mina de Piçarrão.

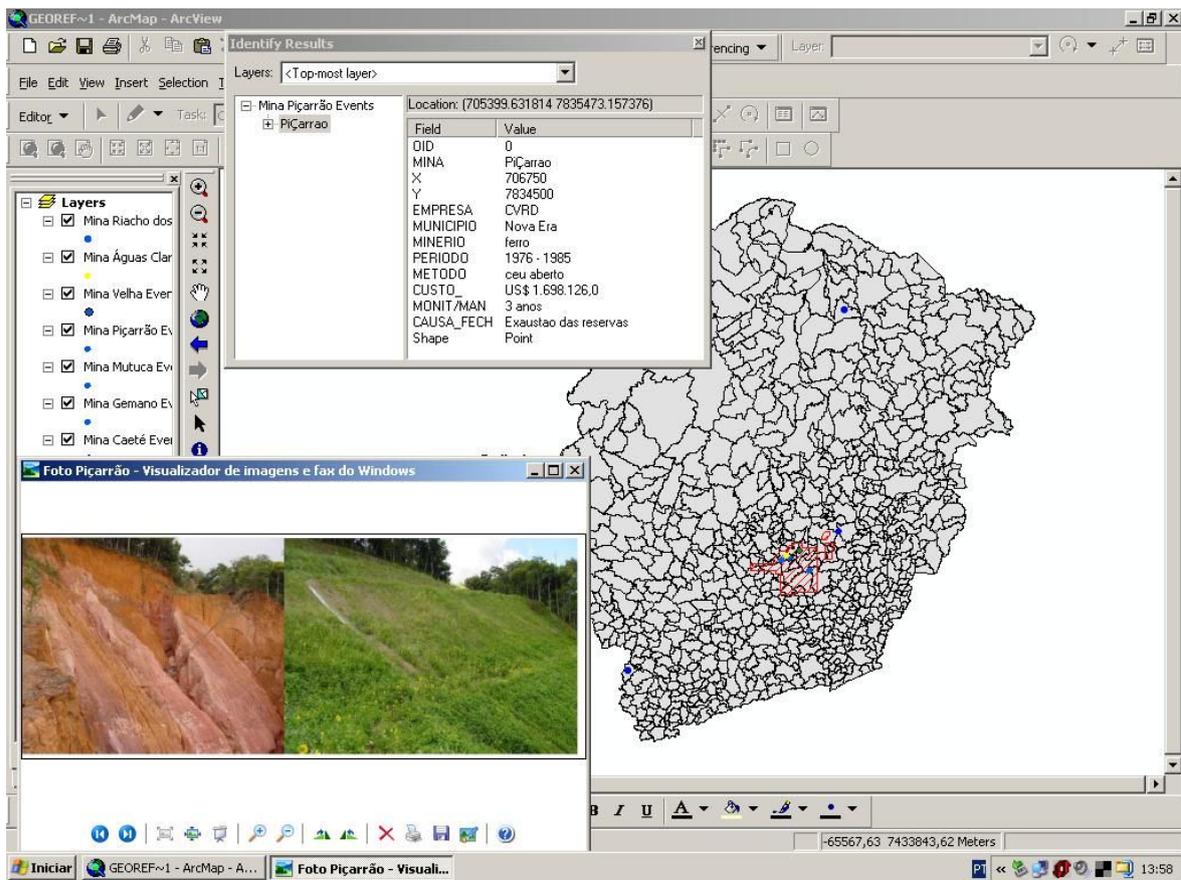


Figura 16: Layers em ArcGIS da Mina Piçarrão.

A Tabela 6 apresenta um demonstrativo dos custos de reabilitação das minas anteriormente descritas da CVRD.

Atividades	Custos em US\$		
	Piçarrão	Caeté	Riacho dos Machados
Projeto Conceitual e Executivo, Revegetação, Drenagem e Reconformação Topográfica	1.322.906,00	633.138,00	761.646,00
Monitoramento e Manutenção	375.222,00	342.975,00	689.114,00
Total estimado	1.698.126,00	976.113,00	1.450.760,00

Fonte: CVRD

3.1.6 MINA OSAMU UTSUMI

A mina Osamu Utsumi entrou em operação em 1982 constituindo o primeiro complexo mineiro-industrial para a produção de concentrado de urânio no Brasil. Em 1988 foi criada a Indústrias Nucleares do Brasil (INB), para suceder a NUCLEBRAS, dentro de um programa do governo federal de reorganização do setor nuclear brasileiro. O conjunto mina/instalações industriais operou até dezembro de 1995, quando ocorreu a paralisação, em caráter definitivo, das atividades de lavra e beneficiamento físico do minério e do tratamento químico da polpa para a produção do concentrado de urânio.

O complexo encontra-se em fase de descomissionamento e fechamento, em função do esgotamento das reservas minerais da jazida de Caldas e da descoberta das reservas de Caetité (BA). As instalações industriais para a produção do concentrado de urânio por processos químicos serão utilizadas para atender outros projetos, dentre eles, o tratamento químico da monazita e a produção de cloretos de terras raras, em uma primeira etapa.

A deposição do capeamento e do material estéreis, removidos para viabilizar a lavra dos corpos mineralizados, ocorreu sem a adoção de técnicas que minimizassem ou impedissem a instalação das condições necessárias para a geração de drenagem ácida.

Além das pilhas de estéril (chamados de “bota fora”) o processo de geração de drenagem ácida se instalou na cava da mina (Figura 17) e nos pátios destinados à estocagem de minérios. A cava foi preenchida com água do lençol freático somada à água dos “Bota-fora” que são bombeadas para esta. Da cava água com pH em torno de 2,5 é bombeada para uma instalação de tratamento de água ativo.

A drenagem ácida é o principal problema para o fechamento desta mina exigindo que a empresa instalasse todo um sistema para captação das drenagens e bombeamento das mesmas para uma estação de tratamento ativo, onde se promove a neutralização com cal e posterior precipitação dos metais dissolvidos (Figura 18).

Em razão do momento histórico e político em que o projeto estatal para a produção de concentrado de urânio foi implantado, não houve provisão de recursos financeiros para cobrir os custos de recuperação, remediação e fechamento definitivo da mina, instalações

industriais (Figura 18) e demais unidades que compõem o Complexo Industrial do Planalto de Poços de Caldas. Estima-se, hoje, entre 10 e 15 anos, o tempo necessário para a execução de todo o processo de fechamento. As primeiras estimativas da INB – Indústrias Nucleares do Brasil avaliam em 30 milhões de dólares o custo de fechamento do complexo industrial instalado no município de Caldas (MG).



Figura 17: Lago da cava com drenagem ácida.



Figura 18: Instalação para tratamento da água ácida (esquerda) e instalações industriais (direita).

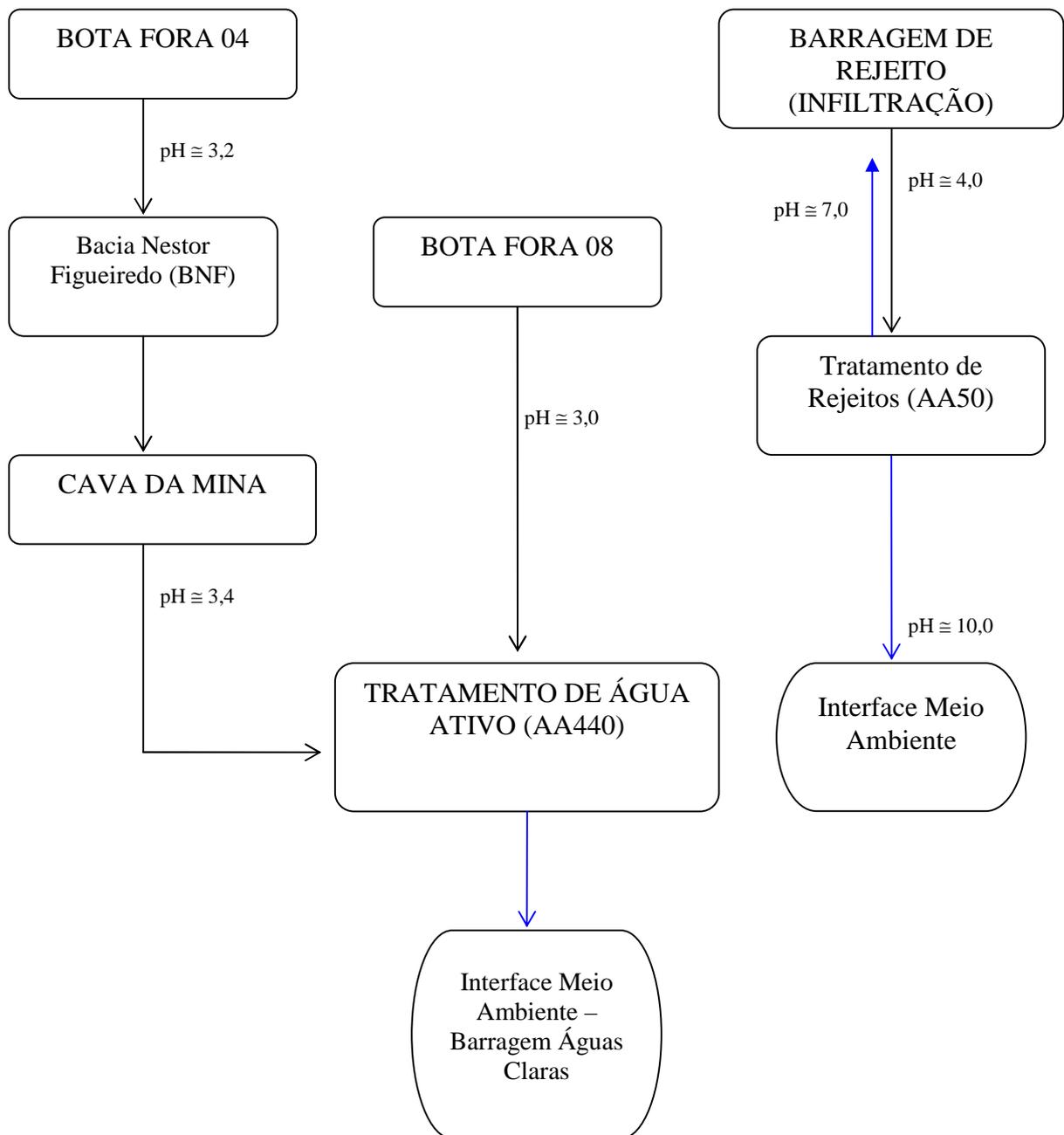


Figura 19: Fluxograma do tratamento de água ativo da mina de urânio. As setas azuis indicam a água tratada.

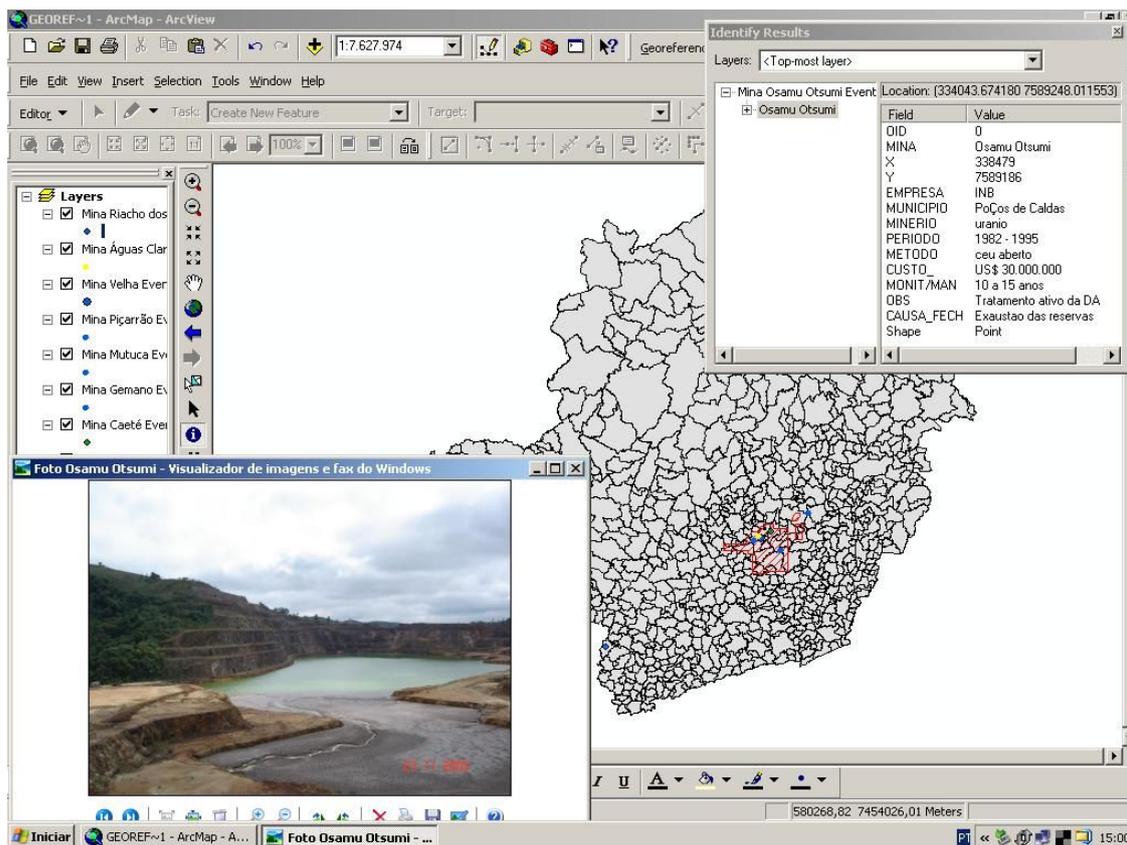


Figura 20: Layers em ArcGIS da Mina Osamu Utsumi.

3.1.7 MINA VELHA – ANGLO GOLD ASHANTI

A Mina Velha entrou em operação em 1830 e encerrou as atividades em 2003. Até o ano do seu fechamento esta mina era a mais antiga em operação do mundo e, por este motivo os sistemas de disposição de rejeitos e estéril não foram feitos da maneira apropriada para o tipo de minério/contaminante (ouro/arsênio). A seu favor, está o fato da mineração ter sido do tipo subterrânea, que minimizou o impacto de uma enorme cava a céu aberto, este fato somado ao tempo de vida da mina provocou o crescimento da cidade de Nova Lima vizinha à mineração, a ponto de não se distinguir onde termina uma e começa a outra (Figura 21).



Figura 21: Vista das instalações industriais vizinha à comunidade no ano de 1960 (Fonte: Anglo Gold Ashanti).

A Anglo Gold Ashanti vem desenvolvendo um programa de fechamento de mina e das instalações (usinas de beneficiamento, planta de arsênio e antigas barragens de rejeitos). O passivo ambiental considerado para fins de fechamento da mina inclui antigas barragens de rejeitos que foram dispostos no Vale do Rio Cardoso entre os anos de 1930 e 1940 e, um dos principais e maiores depósitos é o Morro do Galo. A solução adotada consistiu da remoção, reabilitação e selamento das áreas ocupadas por essas barragens, que incluiu até a remoção de casas que foram construídas sobre estes depósitos.



Figura 22: Antes e depois da recuperação do passivo ambiental no Rio Cardoso (Fonte: Anglo Gold Ashanti).

A reabilitação do Morro do Galo teve início em 1995 com o plantio de 35.000 árvores totalizando US\$ 420.000,00 (Figura 23). Já a recuperação do vale do rio Cardoso compreendeu entre 2000 e 2002 estudos hidrogeológicos, geoquímicos e avaliação de riscos dos depósitos do Morro do Galo, Matadouro, Isolamento, Rezende, Fábrica de balas e Madeira. Em 2003, teve início a segunda parte da reabilitação do depósito Morro do Galo com a remoção de 37.000 t de material calcinado e a recuperação de 2.383 Oz de minério de ouro, que gerou uma receita de US\$ 410.000,00. A recuperação dessa área foi finalizada em 2004 com um gasto de US\$ 1.200.000,00, mas devido ao lucro proveniente da recuperação do ouro o gasto total estimado ficou em torno de US\$ 800.000,00, a esse custo soma-se o gasto realizado com os estudos dos depósitos de US\$ 1.000.000,00. O próximo depósito a ser recuperado é o Rezende que deve passar pelos mesmos processos que o Morro do Galo.

O processo de descomissionamento da Mina Velha encerrou-se em 2005 com o desmantelamento das antigas instalações, tubulações, instalações elétricas e a demolição das estruturas civis e de madeira além da reabilitação do solo. O valor dessa obra foi de R\$ 9.000.000,00, mas ao final do processo obteve lucro com a venda da sucata e do ouro e prata que estavam acumulados na instalação de tratamento de minério.

Destaca-se ainda, no plano de fechamento de mina adotado pela Anglo Gold Ashanti a interação com a comunidade e uso futuro da área via preservação da cultura/memória numa transição de fechamento/uso futuro de forma sustentável. Para tal propõe-se a criação da “Gold City” para ser um novo vetor para o turismo de negócios e turismo de lazer (Figura 25), já que a área é parte do circuito turístico “Circuito do Ouro” da qual fazem parte outras cidades que tem tradição histórica na exploração desse minério, como a cidade de Sabará.



Figura 23: Morro do Galo antes e depois, com barragem para contenção de sedimentos (Fonte: Anglo Gold Ashanti).



Figura 24: Antiga galeria para exploração subterrânea (esquerda) e uma montagem de um futuro anfiteatro a ser criado com destaque para galeria (direita) (Fonte: Anglo Gold Ashanti).

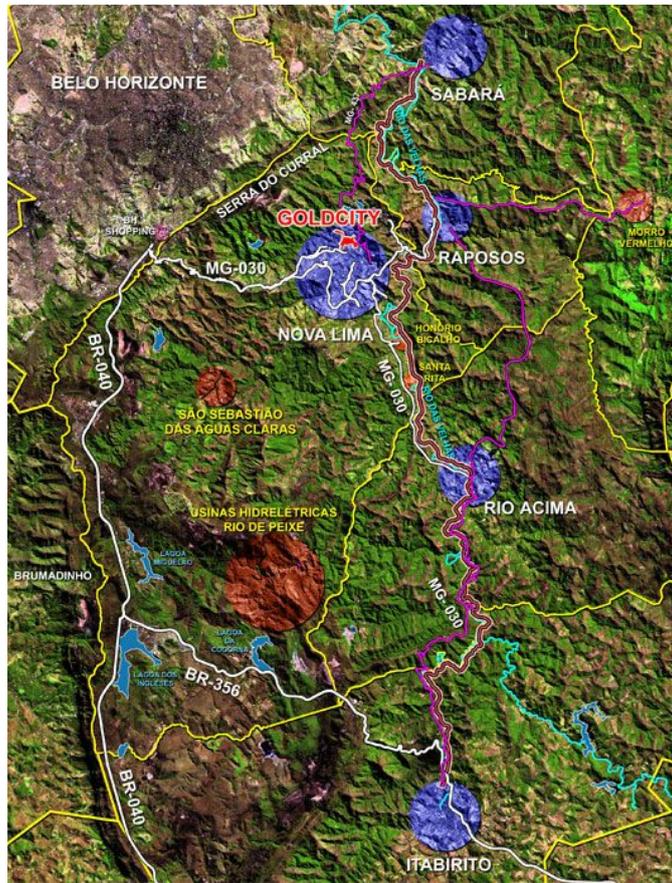


Figura 25: Localização da “Gold City” no circuito turístico do ouro de Minas Gerais (Fonte: Anglo Gold Ashanti).

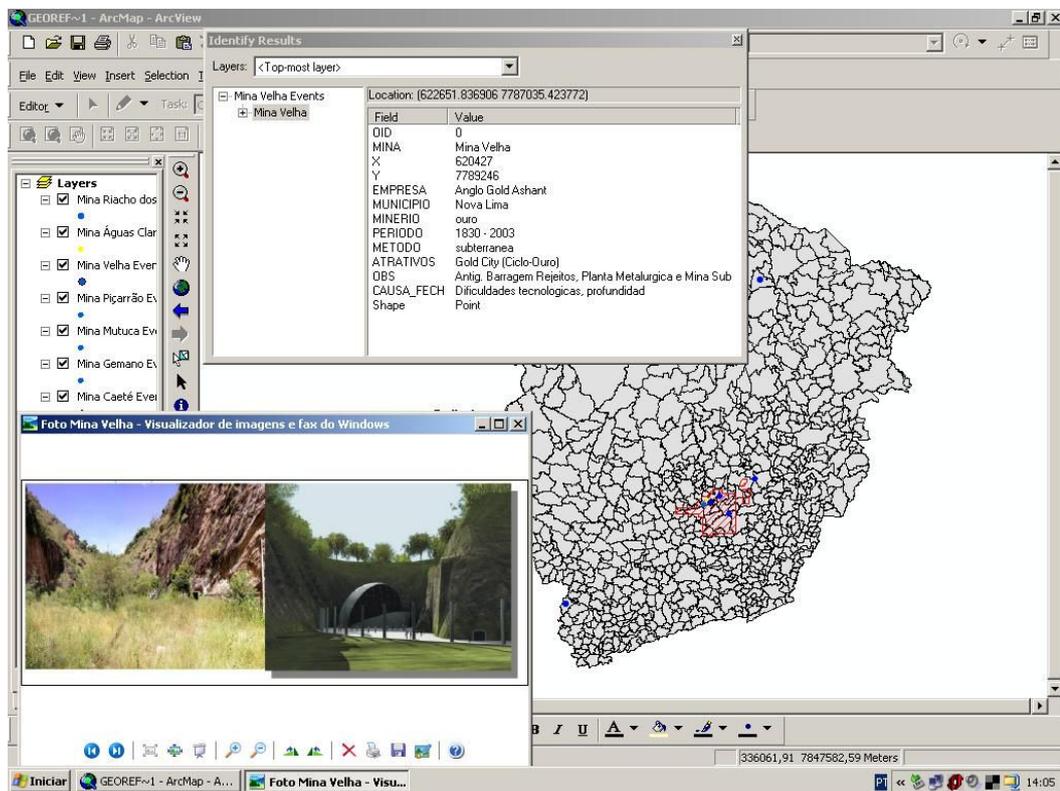


Figura 26: Layers em ArcGIS da Mina Velha.

3.1.8 MINA DE GERMANO

A Mina do Germano esteve em operação de 1976 a 1991, explotando neste período 160 milhões de tonelada de minério e estéril. Com a exaustão do minério o programa de fechamento/reabilitação para a cava envolveu um projeto geotécnico e um projeto paisagístico. Com o objetivo de aumentar vida útil da barragem do Germano e, conseqüentemente, adiar a construção de uma nova barragem de rejeitos, uma alternativa encontrada pela Samarco foi preencher a cava do Germano (Figura 27) com os rejeitos grossos da usina de concentração. Esta alternativa gerou a necessidade da elaboração de dois projetos um geotécnico e outro paisagístico. Estudos geotécnicos definiram que os taludes finais pilha de rejeitos no interior da cava deverão ser de 18° (3/1) e com altura máxima de 150 m. O projeto paisagístico conceitual foi elaborado por Burle Marx.



Figura 27: À esquerda situação atual da cava do Germano e à direita ilustração da cava após reabilitação (Fonte: Samarco).

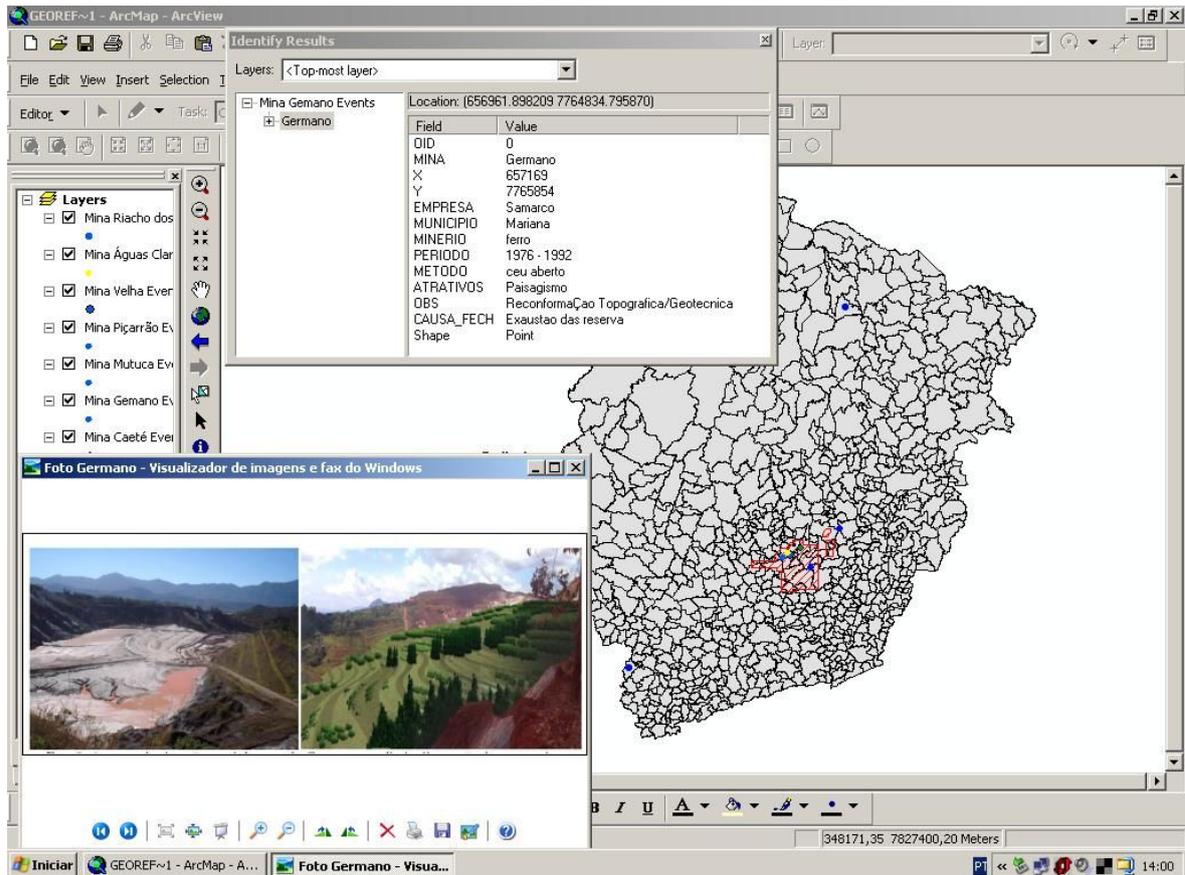


Figura 28: Layers em ArcGIS da Mina Germano.

3.2 NÍVEL DE RECUPERAÇÃO DAS MINAS ESTUDADAS

As minas estudadas foram classificadas de acordo com a metodologia apresentada por ENGEL & PARROTTA (2003), Figura 29, onde se considerou o nível de reabilitação de uma mina em questão em função da composição de espécies e complexidade do ecossistema local. Neste gráfico as minas apresentadas são distribuídas em função da metodologia de fechamento adotado em função do método de reabilitação empregado e do uso futuro destinado para a área. Os números representados no gráfico referem-se ao número da mina citada neste estudo.

Nas minas de Águas Claras (1) Velha (7) o processo de recuperação foi classificado como de substituição (Figura 29), levando-se em consideração que o uso dado às áreas, após fechamento, proporcionou ecossistemas bastante distintos dos originais.

Apesar de bastante subjetivo, no caso de Águas Claras a formação do lago e uma provável vila residencial, centro de convenções e faculdades como utilização futura do local caracterizam a substituição do ecossistema original. Para a mina Velha, a questão ecossistema original torna-se bastante difícil dada à longevidade da mina e sua inserção da cidade. A proposta de criação da “Gold City” torna-se fundamental para garantia da sustentabilidade “sócio-econômica, cultural e ambiental” da área.

As minas Mutuca (2) e Germano (8), quando consideradas somente as cavas, são as que mais se apresentam da restauração tendo em vista que a reabilitação de ambas envolverá a reconformação topográfica das cavas e a tentativa de retorno ao ecossistema original.

As minas Caeté (3), Riacho dos Machados (4), Piçarrão (5), Osamu Itsumi (6) são as que mais se enquadram no conceito de reabilitação, pois promovem a recuperação do solo e a revegetação, criando ecossistemas distintos do original.

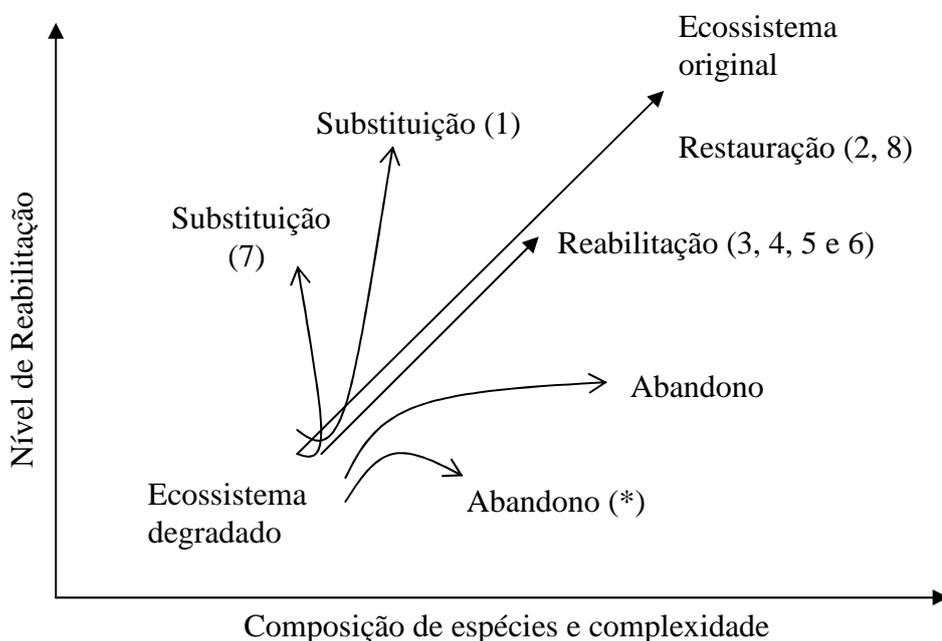


Figura 29: Ilustração dos processos que envolvem a restauração do ecossistema degradado, os números referem-se às minas fechadas e citadas neste estudo (Fonte: modificado de ENGEL & PARROTTA, 2003).

Das minas estudadas em Minas Gerais, vale destacar a ênfase dada ao uso futuro, nos planos de fechamento das minas de Águas Claras e Mina Velha. Apesar da qualidade dos planos de fechamento em andamento, com vistas a reabilitação ambiental dos diversos componentes da mina, ambas, Águas Claras e Mina Velha encontram-se inseridas numa área de demanda urbana intensa. O uso futuro da área da Mina de Águas Claras, embora não totalmente definido por razões da aquisição da MBR pela CVRD, contempla de forma conceitual, um projeto urbanístico que inclui um centro de convenções, hotéis, faculdades e outras atividades do denominado terceiro setor, com menor impacto ambiental e intensa geração de emprego e renda. Em relação a Mina Velha, inserida na área urbana de Nova Lima, o plano de fechamento da Anglo Gold Ashanti enfatiza, além da remoção dos antigos passivos ambientais, a criação da “Gold City” que terá grande impacto no turismo local e na preservação da memória e cultura da mineração.

Nas minas Piçarrão, Caeté e Riacho dos Machados, os planos de fechamento enfatizaram a reabilitação das diversas unidades da mina, as quais incluem suavização dos taludes, instalação dos sistemas de drenagens nos taludes e bermas com canaletas e escadas d’água, seguido de revegetação para controle e minimização de futuros processos erosivos. Estas minas encontram-se afastadas de centros urbanos sendo o uso final adotado semelhante ao uso das áreas do entorno. No caso da Mina de Caeté, onde a empresa não era proprietária da superfície, a área foi repassada ao proprietário, mantendo a companhia a responsabilidade de manutenção e monitoramento das áreas reabilitadas.

Nas Minas de Mutuca e Germano o plano de fechamento adotado contempla a recomposição topográfica das cavas. Embora seja uma solução ambientalmente satisfatória do ponto de vista cênico, de manutenção da estabilidade das encostas e minimização de áreas destinadas à disposição de estéréis e rejeitos, a recomposição topográfica para minas exploradas em cavas é, em geral difícil, do ponto de vista operacional (exploração de minério e disposição de estéril ou rejeito em áreas já lavradas, concomitantemente). Tanto Germano quanto Mutuca serão preenchidos com rejeito (Germano) e rejeito e estéril (Mutuca) provenientes de outras minas. A proximidade da Usina de Germano da cava e a necessidade de ampliação da vida útil da barragem de rejeitos contribuíram para a opção de preenchimento da cava de Germano com o rejeito grosso (fração areia) possibilitando a

recomposição topográfica da mesma e a sua reabilitação final baseada num projeto paisagístico conceitual elaborado por Burle Marx.

A mina de urânio Osamu Utsumi, com operação de mina paralisada em 1995, não possui até um momento de um plano de fechamento de mina. Diversas etapas de reabilitação foram implementadas, e um plano de fechamento definitivo está sendo preparado de acordo com o termo de compromisso firmado com o IBAMA, FEAM e CNEN em 2002. A importância desta mina em termos de fechamento de mina refere-se ao problema da drenagem ácida. Atualmente, a INB emprega o tratamento ativo da drenagem ácida proveniente da cava, pilhas de estéril e barragem de rejeitos, o qual garante a qualidade requerida pela legislação dos efluentes oriundos da instalação. O fechamento definitivo de todas as unidades da Mina Osamu Utsumi, segundo estimativa da INB é de 10 a 15 anos a um custo de 30 milhões de dólares. Drenagem ácida, atualmente, é considerado um dos grandes problemas em termos de fechamento de mina, por ser considerado um passivo de longo prazo, de difícil tratamento e conseqüentemente os custos envolvidos. Um poço de pesquisa, aberto na Mina de Riacho dos Machados, interceptou um minério sulfeto. Atualmente, a CVRD vem monitorando as águas deste poço que, embora, não estejam aflorando à superfície, são ácidas.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deixar o local pós-mina, auto-sustentável do ponto de vista, não apenas ambiental, mas também sócio e economicamente estável deve ser a meta de um programa de fechamento. Para isso faz-se necessário uma clara definição de critérios de fechamento que norteiem não apenas a empresa de mineração, mas também o órgão ambiental, para posterior avaliação do programa de fechamento implementado, como também a sociedade envolvida no processo.

Através deste estudo foi possível concluir que os indicadores biológicos estão sendo utilizados, com sucesso, como ferramenta pela indústria mineral mundial na fase do fechamento de uma mina. As minerações passaram a ter como objetivo a implementação de uma reabilitação das áreas degradadas ampla e completa, de forma a criar um ambiente auto-sustentável e que conseqüentemente gera um ecossistema dinâmico próximo ao sistema ecológico original, retomando toda a integridade biológica existente.

Conceitualmente, para uma completa e bem sucedida reabilitação ambiental é necessário restaurar toda a integridade do ecossistema tanto biológica, como física e química. Entretanto, restaurar um ecossistema é, em muitas vezes, tecnicamente e economicamente inviável. O objetivo final, portanto, deve ser garantir que a área recuperada seja auto-sustentável em todos os parâmetros. Para tal a complexidade biológica e ecológica do meio ambiente degradado, bioindicadores devem ser amplamente utilizados não só no fechamento de uma mina, mas por todos os empreendimentos que de alguma forma provocam a degradação ambiental.

O monitoramento ambiental utilizando bioindicadores provavelmente é insuficiente para mensurar integralmente toda a complexidade ecológica. Mas a integração de diferentes métodos e objetivos podem realizar com sucesso o monitoramento e a avaliação dos impactos na mineração.

As razões pelo qual o fechamento de mina está tão difundido atualmente incluem a crescente ênfase na associação das condições ambientais à provisão de créditos para novos projetos mineiros; a minimização de tensões e conflitos com comunidades locais, o desafio do cumprimento a futuras e, mais rigorosas, regulamentações ambientais; a melhoria da

imagem da empresa via operações menos agressivas ao meio ambiente e a política corporativa. Vai ser cada vez mais difícil para as companhias um acesso seguro a novos depósitos nacional e internacionalmente se elas tiverem uma má performance no momento do fechamento.

O fechamento de mina, no fim, determina o que vai ser deixado para trás de benéfico ou como herança para as futuras gerações. Se o descomissionamento e fechamento não forem realizados de maneira planejada e efetiva, as chances que o local continue sendo perigoso e poluído por muitos anos são grandes. No geral, o objetivo do fechamento de mina é prevenir ou minimizar os impactos ambientais (longo prazo), físicos, sociais e econômicos, e criar uma área estável e adequada para algum uso futuro subsequente pré-definido.

O encerramento da mina de maneira planejada está ainda em uma fase inicial, mas em processo de desenvolvimento no Brasil e principalmente em Minas Gerais que possui um número expressivo de minas distribuídas em todo o estado, além de muitas destas serem antigas e, encontrar-se no fim da vida útil do empreendimento. Uma mudança nas leis, tecnologias e atitudes de todos os envolvidos são essenciais para dar continuidade à esse desenvolvimento social, econômico e ambiental.

Os riscos envolvidos, em termos de fechamento, diferem de mina a mina. A MBR realizou uma criteriosa avaliação de riscos para o fechamento da mina de Águas Claras, a qual enfatizou os riscos geotécnicos na cava, nas pilhas de estéril e na barragem de rejeitos. O lago a ser formado na cava de Águas Claras, apresenta duas situações de risco. Um envolve a qualidade da água quando do lago formado que terá 140m de profundidade e um reservatório de 59 milhões de metros cúbicos. Um prognóstico de qualidade da água do lago foi realizado em 1993 e um contínuo monitoramento durante a fase de enchimento tem sido realizado. O risco existente é da deterioração da qualidade da água em profundidade, visto não existir casos de lagos desta profundidade em áreas de clima tropical. O outro risco é devido ao rompimento das paredes da cava e a possibilidade de geração de uma grande onda no lago com severas conseqüências a jusante deste. Simulações para uma situação extrema indicaram a manutenção de um “freeboard” no vertedouro de 2m de altura. Entretanto, do ponto de vista de risco para as minas listadas no estudo de caso, a drenagem ácida merece maior destaque visto ser um risco de longo prazo e seu efeito na biota. No plano de fechamento da mina Osamu Utsumi a solução para o

problema de drenagem ácida é de suma importância. Embora, o efluente do poço de pesquisa da mina de Riacho dos Machados não esteja atingindo águas superficiais, a drenagem ácida constitui o risco maior envolvido no fechamento.

O maior desafio para empresas de mineração é como desenvolver e implementar um plano de fechamento que seja técnico, econômico, socialmente e principalmente ambientalmente viável sem incorrer em passivos no longo prazo.

O sucesso do plano de fechamento demanda o envolvimento da empresa, do governo e da sociedade, e requer uma adequada avaliação das responsabilidades de caráter técnico, ambiental, social, financeiro e regulamentar se quiser ser eficaz. O governo, a indústria e as comunidades organizadas estão trabalhando como parceiros para proteger o meio ambiente no presente e para as gerações futuras.

CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, J.; BRIGGS, B. Development of a National Mine Closure Strategy, 1999. *In*: CLARK, A.L.; CLARK, J.C. **An internacional overview of legal frameworks for mine closure**. 2002.
- ALMEIDA, R. O.P.O. **Revegetação de áreas mineradas: estudo dos procedimentos aplicados em minerações de areia**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. São Paulo,SP, 2002. 160p.
- ANDERSEN, A.N.; HOFFMANN, B.D.; SOMES, J. Ants as indicators of minesite restoration: community recovery at one of eight rehabilitation sites in central Queensland. **Ecological Management & Restoration** 4 (S), 12-19. 2003.
- ANDERSEN, A.N. Using ants as bioindicators: multiscale issues in ant community ecology. **Conser. Ecol.** (online). 1997. Disponível em <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art8>. Acesso: 20 mar. 2006.
- ANDREWS-SPEED, P., MA, G., SHAO, B.; LIAO, C. Economic responses to the closure of small-scale coal mines in Chongqing, China. **Resources Policy** 30: 39-45. 2005.
- ANZMEC – THE AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND MINERALS AND ENERGY COUNCIL., 2000. **Strategic framework for mine closure**. Disponível em: www.natural-resources.org/.../csr/docs/csr/ Acesso: 20 mar. 2006.
- BASU, A.J.; van ZYL, D.J.A. Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry. **Journal of Cleaner Production** 14: 299-304. 2006.
- BLAIR, R.B.; LAUNER, A.E. Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. **Biol. Conser.** 80:113–125. 1997.
- BOGAERT, J. Landscape Ecology in action (Book review). **Landscape and Urban Planning**. Vol. 53: 181-186. 2001.
- BRÖRING, U.; MRZLJAK, J.; NIEDRINGHAUS, R.; WIEGLEB, G. Soil zoology I: arthropod communities in open landscapes of former brown coal mining areas. **Ecological Engineering** 24: 121-133. 2005.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Rehabilitation of tropical lands: a key of sustaining development. **Restoration Ecology**, v.2, 2: 97-111. 1994.
- BRÖRING, U.; WIEGLEB, G. Soil zoology II: Colonization, distribution, and abundance of terrestrial Heteroptera in open landscapes of former brown coal mining areas. **Ecological Engineering** 24: 135-147. 2005.
- BURD, B.J. Evaluation of mine tailings effects on a benthic marine infaunal community over 29 years. **Marine Environmental Research** 53: 481-519. 2001.

- CAIRNS Jr., J. Aumento da diversidade através da restauração de ecossistemas danificados. **Biodiversidade** (Wilson, E.O. ed.). Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 657p, 38: 428-441. 1997.
- CAMPBELL, J.M.; EMERY, A.C. "RTZ's approach to mine and smelter closure planning worldwide". *In: Sudbury'95 Conference on Mining and the Environment*, Sudbury, Ontario, CANMET, 377-385. 1995.
- CARPANEZZI, A.A.; COSTA, L.G.S.; KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. 1990. *In: ENGEL, V.L. & PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais*. 2003.
- CLARK, A.L.; CLARK, J.C., 2002. **An internacional overview of legal frameworks for mine closure**. Disponível em http://www.idrc.org/uploads/users/11198931391clark_jcclark. Acesso: 10 abr. 2006.
- DALE, V.H.; BEYELER, S.C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators** 1: 3-10. 2001.
- DUNGER, W.; WANNER, M. Development of soil fauna at mine sites during 46 years after afforestation. **Pedobiologia** 45: 243-271. 2001.
- ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. FEPAF, Botucatu, SP. 01-26p. 2003.
- ENGLEMAN, C.J.; McDIFFETT, W.F. Accumulations of aluminum and iron by bryophytes in streams affected by acid-mine drainage. **Environmental Pollution** 94: 67-74. 1996.
- EPA. Mine Decommissioning. **The Australian Environment Protection Agency**. 2002.
- ERNST, W.H.O. Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. **Applied Geochemistry** 11: 163-167. 1996.
- FLORES, J.C.C. **Fechamento de Mina: responsabilidade técnica, legal e social**. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, SP. 285p. 2006.
- FOURIE, A.; BRENT, A.C. A projec-based Mine Closure Model (MCM) for sustainable asset Life Cycle Management. **Journal of Cleaner Production** 14: 1085-1095. 2006.
- HAMBURG, H.v.; ANDERSEN, A.N.; MEYER, W.J.; ROBERTSON, H.G. Ant community development on rehabilitated ash dams in the South Africa Highveld. **Restoration Ecology**, 12:552-558. 2004.

- HARRISON, S.; MURPHY, D.D.; EHRLICH, P.R., 1988. *In*: RAMBALDI, D.M.; OLIVEIRA, D.A.S. (orgs.). **Fragmentação de ecossistemas de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. 2003.
- HOLEC, M.; FOUZ, J. Ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in reclaimed and unreclaimed brown coal mining spoil dumps in the Czech Republic. **Pedobiologia** 49: 345-357. 2005.
- KIMMINS, J.P. **Forest Ecology**. 1987. *In*: ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. 2003.
- KNOL, R. Planning for mine closure: Responsibility of regulators, community or industry? **Minerals Council of Australia Environmental Workshop**, p. 69-82. 1999.
- KREMEN, C., COLWELL, R.K., ERWIN, T.L., MURPHY, D.D., NOSS, R.F. & SANJAYAN, M.A. Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. **Conser. Biol.** 7: 796-808. 1993.
- LAURENCE, D. Optimisation of the mine closure process. **Journal of Cleaner Production** 14: 285-298. 2006.
- LIMA, H. M.; FLORES, J.C.C.; COSTA, F.L. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas Versus Plano de Fechamento de Mina: Um Estudo Comparativo. **Revista da Escola de Minas**, v. 49, n. 4, p. 397-402, 2006.
- LIMA, H. M. **Aspectos Técnicos Y Metodológicos Del Cierre De Minas**. Ordenamiento Y Cierre De Minas. R. B. Torres and P. Carrión. Guayaquil, Imprenta Mistral: 51-94. 2005.
- LUDWIG, J.A.; HINDLEY, N.; BARNETT, G. Indicators for monitoring minesite rehabilitation: trends on waste-rock dumps, Northern Australia. **Ecological Indicators** 3: 143-153. 2003.
- MAJER, J.D.; NICHOLS, O.G. Long-term recolonization patterns of ants in Western Australian rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success. **Journal of Applied Ecology** 35: 161-182. 1998.
- MAJER, J.D. **Animals in primary succession – the role of fauna reclaimed lands**. 1989. *In*: Hamburg, H.v., Andersen, A.N.; Meyer, W.J.; Robertson, H.G. Ant community development on rehabilitated ash dams in the South Africa Highveld. *Restoration Ecology*, 12: 552-558. 2004.
- MAJER, J.D. **Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation**. 1983. *In*: HAMBURG, H.v.; ANDERSEN, A.N.; MEYER, W.J.; ROBERTSON, H.G. Ant community development on rehabilitated ash dams in the South Africa Highveld. 2004.
- METZGER, J.P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. FEPAF, Botucatu, SP. 49-76p. 2003.

- METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas,SP. Vol. 1, nº 1 e 2: 1-9. 2001.
- METZGER, J.P. Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica. **An.Acad. Bras. Ci.** Vol. 71: 445-462. 1999.
- MINING ASSOCIATION OF CANADÁ. Whitehorse Mining Initiative, in Leadership Council Accord Final Report. 1994. *In*: CLARK, A.L.; CLARK, J.C. An internacional overview of legal frameworks for mine closure. 2002.
- MINTER/IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 96p. 1990.
- MUDDER, T.; HARVEY, K. **Closure concepts**. 1998. *In*: ANZMEC – THE AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND MINERALS AND ENERGY COUNCIL. Strategic framework for mine closure. 2006.
- NIEMELA, J., LANGOR, D.; SPENCE, J.R. Effects of clear-cut harvesting on boreal ground-beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in western Canada. **Conser. Biol.** 7: 551–561. 1993.
- NIXDORF, B.; LESSMANN, D.; DENEKE, R. Mining lakes in a disturbance landscape: Application of the EC Water Framework Directive and future management strategies. **Ecological Engineering** 24: 67-73. 2005.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.B. **Desativação de empreendimentos mineiros: estratégias para diminuir o passivo ambiental**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. São Paulo,SP. 179p. 2001.
- PARROTTA, J.A.; KNOWLES, O.H. Restauração florestal em áreas de mineração de bauxita na Amazônia. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. FEPAF, Botucatu, SP. 308-330p. 2003.
- RAMBALDI, D.M.; OLIVEIRA, D.A.S. (orgs.). **Fragmentação de ecossistemas de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SBF. 510p. 2003.
- RATHKE, D.; BRÖRING, U. Colonization of post-mining landscapes by shrews and rodents (Mammalia: Rodentia, Soricomorpha). **Ecological Engineering** 24: 149-156. 2005.
- RICKLEFS, R.E. **A Economia da Natureza**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan. 542p. 1998.
- RODRIGUEZ, J.P.; PEARSON, D.L.; BARRERA, R.R. A test for the adequacy of bioindicator taxa: are tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae) appropriate indicators for monitoring the degradation of tropical forests in Venezuela? **Biol. Conser.** 83:69–76. 1998.

- ROSENBERG, D.M.; DANKS, H.V., LEHMKUHL, D.M. **Importance of insects in environmental impact assessment**. 1986. In: HAMBURG, H.v., ANDERSEN, A.N., MEYER, W.J. & ROBERTSON, H.G. Ant community development on rehabilitated ash dams in the South Africa Highveld. 2004.
- SASSOON, M. **Environmental aspects of mine closure**. Mine Closure and Sustainable Development, Washington, DC, Mining Journal Books Ltd. 2000.
- SASSOON, M. **Closure or Abandonment**. 1996. In: CLARK, A.L.; CLARK, J.C. An internacional overview of legal frameworks for mine closure. 2002.
- SHU, W.S.; YE, Z.H.; ZHANG, Z.Q.; LAN, C.Y.; WONG, M.H. Natural colonization of plants on five lead/zinc mine tailings in Southern China. **Restoration Ecology** 13: 49-60. 2005.
- SKLENICKA, P.; CHARVATOVA, E. Stand continuity – a useful parameter for ecological networks in post-minig landscapes. **Ecological Engineering** 20: 287-296. 2003
- SPITZER, K.; JAROS, J.; HAVELKA, J.; LEPS, J. Effects of small scale disturbance on butterfly communities of an Indochinese montane rainforest. **Biol. Conser.** 80: 9–15. 1997.
- TAVEIRA, A.L.S. **Provisão de recursos financeiros para o fechamento de empreendimentos mineiros**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. São Paulo, SP. 209p. 2003.
- THOMPSON, S.A.; THOMPSON, G.G. Adequacy of rehabilitation monitoring practices in the Western Australian mining industry. **Ecological Management & Restoration** 5, 30-33. 2004.
- TONGWAY, D.; HINDLEY, N. **Landscape Function Analysis: Procedures for Monitoring and Assessing Landscapes**. CSIRO Sustainable Ecosystems. 80p. 2004.
- TONGWAY, D.; HINDLEY, N. Indicators of Ecosystem Rehabilitation Success. Stage Two – Verification of EFA Indicators. CSIRO Sustainable Ecosystems. Final Report. 66p. 2003. Disponível em www.cse.csiro.com.au/research/program3/efa/. Acesso: 15 abr. 2006.
- TOWNSEND, C.R., BEGON, M.; HARPER, J.L. **Fundamentos em ecologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed. 592p. 2006.
- VASSEUR, P.; CoOSSU-LEGUILLE, C. Biomarkers and community indices as complementary tools for environmental safety. **Environment International** 28,711 – 717. 2003.
- WANNER, M.; DUNGER, W. Biological activity of soils from reclaimed open-cast coal mining areas in Upper Lusatia using testate amoebae (protists) as indicators. **Ecological Engineering** 17, 323-330. 2001.

WHITE, P.S.; PICKETT, T.A. **Natural Disturbances and Patch Dynamics: An Introduction.** 1985. *In:* ENGEL, V.L. & PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. 2003.

ANEXO

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

PORTARIA Nº 237, DE 18 DE OUTUBRO DE 2001

Aprova as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, de que trata o Art. 97 do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967.

O DIRETOR GERAL DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM, no uso das atribuições que lhe confere o Art. 12 do Decreto nº 3.576, de 30 de agosto de 2000, publicado no DOU de 31 de agosto de 2000, tendo em vista o disposto no inciso III do Art. 3º, nos incisos V, VI, XI, XIII e XV do Art. 47, nos Art. 88 e 97 do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967; incisos VI e VII do Art. 3º da Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994 e incisos IV, VI, VII e X do Art. 9º da Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989; e

CONSIDERANDO a necessidade de expedição de regulamentos necessários à aplicação do Código de Mineração e legislação correlativa;

CONSIDERANDO a necessidade de otimizar os meios e instrumentos para elaboração e análise de projetos com vista à outorga de títulos minerários, à fiscalização e outras atribuições institucionais do DNPM;

CONSIDERANDO a necessidade de aperfeiçoamento dos serviços técnicos na mineração e o aporte de novas tecnologias;

CONSIDERANDO a necessidade de estabelecimento de ação integrada com outras Instituições que atuam na atividade mineral;

CONSIDERANDO o interesse social no aproveitamento racional dos bens minerais, a minimização dos impactos ambientais decorrentes da atividade minerária bem como a melhoria das condições de saúde e segurança no trabalho, resolve:

Art. 1º - Determinar a publicação das Normas Reguladoras de Mineração – NRM, no DOU, nos termos do Anexo I desta Portaria.

Art. 2º - Aos infratores do disposto nas NRM aplicam-se as sanções previstas no Código de Mineração, seu Regulamento e legislação correlativa.

Art. 3º - As sanções serão aplicadas cumulativamente por inadimplemento de cada item, subitem e alínea das NRM.

Art. 4º - A aplicação de sanções referente ao emprego das NRM não exime o cumprimento de determinações decorrentes das ações de fiscalização bem como da aplicação de outras sanções previstas na legislação.

Art. 5º - Para o cumprimento dos itens, subitens e alíneas das NRM serão obedecidos os prazos constantes no Anexo II desta Portaria.

Art. 6º - Os demais itens, subitens e alíneas das NRM não indicados no Anexo II desta Portaria entrarão em vigor no prazo de sessenta dias da data de sua publicação.

Art. 7º - Os prazos constantes no Anexo II desta Portaria poderão, a critério do DNPM, com base em laudo técnico do Agente Fiscalizador, serem reduzidos, uma vez constatada situação de grave e iminente risco.

Art. 8º - Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

MARCELO RIBEIRO TUNES

NORMAS REGULADORAS DE MINERAÇÃO - NRM

ÍNDICE GERAL

- NRM-01 Normas Gerais
- NRM-02 Lavra a Céu Aberto
- NRM-03 Lavras Especiais
- NRM-04 Aberturas Subterrâneas
- NRM-05 Sistemas de Suporte e Tratamentos
- NRM-06 Ventilação
- NRM-07 Vias e Saídas de Emergência
- NRM-08 Prevenção contra Incêndios, Explosões e Inundações
- NRM-09 Prevenção contra Poeiras
- NRM-10 Sistemas de Comunicação
- NRM-11 Iluminação
- NRM-12 Sinalização de Áreas de Trabalho e de Circulação
- NRM-13 Circulação e Transporte de Pessoas e Materiais
- NRM-14 Máquinas, Equipamentos e Ferramentas
- NRM-15 Instalações
- NRM-16 Operações com Explosivos e Acessórios
- NRM-17 Topografia de Minas
- NRM-18 Beneficiamento
- NRM-19 Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos
- NRM-20 Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras**
- NRM-21 Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas**
- NRM-22 Proteção ao Trabalhador

NRM-20 – Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras

20.1 Objetivo

20.1.1 Esta Norma tem por objetivo definir procedimentos administrativos e operacionais em caso de fechamento de mina, suspensão e retomada das operações mineiras.

20.2 Generalidades

20.2.1 Para efeito desta Norma o termo fechamento de mina designa a cessação definitiva das operações mineiras.

20.2.2 Para efeito desta Norma o termo suspensão designa a cessação de caráter temporário das operações mineiras.

20.2.3 A suspensão, o fechamento de mina, e a retomada das operações mineiras não podem ser efetivados sem prévia comunicação e autorização do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

20.3 Suspensão das Operações Mineiras

20.3.1 Para a suspensão das operações mineiras, após comunicação prévia, é obrigatório o pleito ao Ministro de Estado de Minas e Energia em requerimento justificativo caracterizando o período pretendido, devidamente acompanhado de instrumentos comprobatórios, nos quais constem:

- a) relatório dos trabalhos efetuados e do estado geral da mina e suas possibilidades futuras;
- b) caracterização das reservas remanescentes, geológicas e lavráveis;
- c) atualização de todos os levantamentos topográficos da mina;
- d) planta da mina na qual conste a área lavrada, a disposição do solo orgânico, estéril, minério, sistemas de disposição, vias de acesso e outras obras civis;
- e) áreas recuperadas e por recuperar;
- f) planos referentes a:

- I- monitoramento do lençol freático quando couber;
 - II- controle do lançamento de efluentes com caracterização de parâmetros controladores;
 - III- manutenção das instalações e equipamentos;
 - IV- drenagem da mina e de atenuação dos impactos no meio físico especialmente o meio hídrico;
 - V- monitoramento da qualidade da água e do ar para minimizar danos aos meios físico, biológico e antrópico e
 - VI- retomada das operações;
- g) medidas referentes a:
- I- bloqueio de todos os acessos à mina e, quando necessário, manutenção de vigilância do empreendimento de modo a evitar incidentes e acidentes com homens e animais e garantir a integridade patrimonial;
 - II- proteção dos limites da propriedade mineira;
 - III- desativação dos sistemas elétricos;
- h) riscos ambientais decorrentes da suspensão;
- i) atualização dos estudos tecnológicos e de mercado dos bens minerais objeto da concessão;
- j) descrição detalhada de todas os elementos de suporte mineiras indicando as suas localizações em planta;
- l) esquema de suspensão das atividades no qual conste:
- I- plano seqüencial de desmobilização das operações mineiras unitárias e
 - II- eventuais reforços ou substituição dos elementos de suporte mineiras visando facilitar a ulterior retomada das operações;

20.4 Fechamento de Mina

20.4.1 Para o fechamento de mina, após comunicação prévia, é obrigatório o pleito ao Ministro de Estado de Minas e Energia, em requerimento justificativo devidamente acompanhado de instrumentos comprobatórios nos quais constem:

- a) relatório dos trabalhos efetuados;
- b) caracterização das reservas remanescentes;
- c) plano de desmobilização das instalações e equipamentos que compõem a infraestrutura do empreendimento mineiro indicando o destino a ser dado aos mesmos;

- d) atualização de todos os levantamentos topográficos da mina;
- e) planta da mina na qual conste as áreas lavradas recuperadas, áreas impactadas recuperadas e por recuperar, áreas de disposição do solo orgânico, estéril, minérios e rejeitos, sistemas de disposição, vias de acesso e outras obras civis;
- f) programa de acompanhamento e monitoramento relativo a:
 - I- sistemas de disposição e de contenção;
 - II- taludes em geral;
 - III- comportamento do lençol freático;
 - IV- drenagem das águas;
- g) plano de controle da poluição do solo, atmosfera e recursos hídricos, com caracterização de parâmetros controladores;
- h) plano de controle de lançamento de efluentes com caracterização de parâmetros controladores;
- i) medidas para impedir o acesso à mina de pessoas estranhas e interditar com barreiras os acessos às áreas perigosas;
- j) definição dos impactos ambientais nas áreas de influência do empreendimento levando em consideração os meios físico, biótico e antrópico;
- l) aptidão e intenção de uso futuro da área;
- m) conformação topográfica e paisagística levando em consideração aspectos sobre a estabilidade, controle de erosões e drenagens;
- n) relatório das condições de saúde ocupacional dos trabalhadores durante a vida útil do empreendimento mineiro e
- o) cronograma físico e financeiro das atividades propostas.

20.4.2 Para toda mina que não tenha plano de fechamento contemplado em seu PAE, a critério do DNPM, fica o seu empreendedor obrigado a apresentar o referido plano conforme o item 20.4.1.

20.4.2.1 O plano de fechamento deve ser atualizado periodicamente, no que couber, e estar disponível na mina para a fiscalização.

20.5 Renúncia ao Título de Concessão

20.5.1 O requerimento de renúncia ao título de concessão de lavra implicará no cumprimento do disposto no item 20.4.

20.6 Retomada das Operações Mineiras

20.6.1 A retomada das operações deverá ser precedida de comunicação ao DNPM, dentro do prazo de validade da suspensão autorizada, devidamente acompanhada de Projeto de Retomada das Operações Mineiras;

20.6.2 O Projeto de Retomada deve focar no mínimo os seguintes aspectos:

- a) reavaliação do estado de conservação da mina, suas instalações, equipamentos e outros sistemas de apoio;
- b) esgotamento das águas eventualmente acumuladas quando necessário;
- c) plano de drenagem;
- d) reexame das condições de higiene, segurança e proteção ao meio ambiente e
- e) revisão do Plano de Aproveitamento Econômico – PAE.

20.6.3 A retomada das operações mineiras só é permitida após manifestação favorável do DNPM.

NRM-21 – Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas

21.1 Objetivo

21.1.1 Esta Norma tem por objetivo definir procedimentos administrativos e operacionais em caso de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas.

21.2 Generalidades

21.2.1 Entende-se por área pesquisada para efeito desta Norma toda área utilizada pela atividade de pesquisa geológica.

21.2.1.1 A área pesquisada cujo Relatório Final não tenha sido aprovado deve ser reabilitada conforme a legislação vigente.

21.2.1.2 A área onde houver trabalhos de pesquisa desenvolvidos e que teve o seu Relatório Final de Pesquisa aprovado e não esteja integrada à futura mina deve ser recuperada.

21.2.2 Entende-se por área minerada para efeito desta Norma toda área utilizada pela atividade mineira, seja a área da própria mina, as áreas de estocagem de estéril, minérios e rejeitos, de vias de acesso e demais áreas de servidão.

21.2.3 Entende-se por área impactada para efeito desta Norma toda área com diversos graus de alteração tanto dos fatores bióticos quanto abióticos causados pela atividade de mineração.

21.2.4 Entende-se por adequação paisagística para efeito desta Norma a harmonização da paisagem das áreas mineradas com o objetivo de minimizar o impacto visual.

21.2.5 Entende-se por adequação topográfica para efeito desta Norma a conformação da topografia com vistas ao uso futuro da área.

- 21.2.6 Entende-se por uso futuro de uma determinada área para efeito desta Norma, a utilização prevista da área impactada pela atividade mineira levando-se em consideração suas aptidões e intenção de uso pós-operacional.
- 21.3 Os projetos de reabilitação devem ser elaborados por técnicos legalmente habilitados e previamente submetidos à avaliação do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.
- 21.4 Os projetos de reabilitação devem contemplar a legislação vigente.
- 21.5 No projeto de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas deve constar no mínimo os seguintes itens:
- a) identificação e análise dos impactos ambientais diretos ou indiretos sobre os meios físico, biótico e antrópico;
 - b) aspectos sobre as conformações paisagística e topográfica, observando-se:
 - I- estabilidade;
 - II- controle de erosão;
 - III- drenagem;
 - IV- adequação paisagística e topográfica e
 - V- revegetação;
 - c) programa de acompanhamento e monitoramento;
 - d) planta atualizada na qual conste a situação topográfica atual das áreas a serem reabilitadas;
 - e) aptidão e uso futuro da área;
 - f) apresentar mapas, fotografias, planilhas e referências bibliográficas e
 - g) cronograma físico e financeiro do plano de reabilitação.
- 21.6 O projeto de reabilitação de áreas deve ser apresentado junto ao PCIAM de que trata a NRM-01, item 1.5.1.h.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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