

PROJETO APA SUL RMBH Estudos do Meio Físico



ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
SUL DA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELO HORIZONTE

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE
E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

MINERAÇÃO

Volume 2

*Antônio Carlos Girodo
Eng. de Minas Consultor, Especialista*



Secretaria de Geologia,
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia



Belo Horizonte
2005

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Silas Rondeau Cavalcante Silva
Ministro de Estado

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar
Secretário

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

Agamenon Sérgio Lucas Dantas
Diretor - Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Ribeiro Mendes
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Pereira de Carvalho
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Álvaro Rogério Alencar Silva
Diretor de Administração e Finanças

Carlos Schobbenhaus Filho
Chefe do Departamento de Geologia

Inácio de Medeiros Delgado
Chefe da Divisão de Geologia Básica

Cássio Roberto da Silva
Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Regina Célia Gimenez Armesto
Chefe da Divisão de Gestão Territorial

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Hélio Pereira
Superintendente

Márcio de Oliveira Cândido
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Antônio Rodrigues de Oliveira
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Araújo Vieira
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Silvia Efigênia Vieira de Melo
Gerente de Administração e Finanças

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Aécio Neves
Governador

**SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

José Carlos Carvalho
Secretário de Estado

Shelley de Souza Carneiro
Secretário Adjunto

Antônio Eustáquio Oliver
Chefe de Gabinete

Rubens Varga Filho
Superintendente de Apoio Técnico

Rogério Noce Rocha
Superintendente de Política Ambiental

Eduardo Henrique Alves de Paula
Superintendente de Administração e Finanças

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

Djalma Bastos de Moraes
Presidente

José Maria de Macedo
Diretor de Distribuição

Flávio Decat de Moura
Diretor de Finanças

Heleni de Mello Fonseca
Diretor de Gestão Empresarial

Celso Ferreira
Diretor de Planejamento, Projetos e Construções

Elmar de Oliveira Santana
Diretor de Geração e Transmissão

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

CONVÊNIO SEMAD - CPRM
Nº 011/CPRM/01

PROJETO APA SUL RMBH
Estudos do Meio Físico

Belo Horizonte
2005

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO E SUPERVISÃO

Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.
Helio Antonio de Sousa - Geólogo, M.Sc.
Coordenadores do Projeto APA Sul RMBH

Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.
Representante da CPRM

RELATÓRIOS TEMÁTICOS Responsáveis Técnicos

Geologia

Sérgio Lima da Silva - Geólogo
Eduardo Araújo Monteiro - Geólogo
Orivaldo Ferreira Baltazar - Geólogo
Márcia Zucchetti - Geóloga, M.Sc.

Mineração

Antônio Carlos Girodo - Eng. de Minas Consultor, Especialista

Cobertura e Uso da Terra

Graziela da Silva Rocha Oliveira - Geógrafa Especialista
Patrícia Düringer Jacques - Geóloga, M.Sc.
Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.

Geotecnia

Jorge Pimentel - Geólogo, M.Sc.
Cornélio Zampier Teixeira - Eng. Civil Consultor, Dr.
Fábio Moraes Silva - Geólogo, M.Sc.

Pedologia

Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.
Amaury de Carvalho Filho - Eng. Agrônomo, M.Sc.

Geomorfologia

Antônio Ivo de Menezes Medina - Geólogo
Marcelo Eduardo Dantas - Geógrafo, M.Sc.
Allaoua Saadi - Geógrafo Consultor, Prof. Dr.

Geoquímica Ambiental

Fernanda Gonçalves da Cunha - Geóloga, Dra.
Gilberto José Machado - Geólogo, M.Sc.

Hidrogeologia

Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo
André Luiz Mussel Monsorens - Geólogo, M.Sc.
Antônio Carlos Bertachinni - Geólogo Consultor, M.Sc.

Hidrologia

Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.
Magda Cristina Ferreira Pinto - Química, M.Sc.

Uso e Disponibilidade de Recursos Hídricos

Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.
Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo

APOIO OPERACIONAL

Aginaldo Francisco Teixeira de Freitas - Ass. Tec. Especializado
Alessandro José da Silva - Ass. Tec. Especializado
Antônio dos Santos Neto - Auxiliar Tec. Manutenção
Arlindo Akio Yamato - Geólogo, M.Sc.
Branca Estrella Cardoso - Estagiária de Geografia
Deli Moreira Soares - Auxiliar Tec. Manutenção
Edésio Lucrécio Lucas Diniz - Hidrotécnico
Eliane Moraes Almeida - Estagiária de Geografia
Elóisa Helena Munck - Estagiária de Geografia
Francisco Magela Dias - Auxiliar Tec. Manutenção

René Henrique Cardoso Renault - Biólogo
Gerente da APA Sul RMBH
Representante da SEMAD

APOIO OPERACIONAL

Giovanni Diniz Moreira - Estagiário de Geografia
José Ismael Bento - Técnico de Perfuração
Keli Regina Rodrigues Pedroza - Técnico Administrativo
Lana de Cássia Andrade - Estagiária de Geografia
Márcio Alexandre - Técnico de Hidrologia
Marco Antônio Leitão Pimentel - Técnico Administrativo
Márcio de Oliveira Cândido - Eng. Civil, M.Sc.
Márcio Ferreira Augusto - Desenhista
Maria Lúcia Chagas Ribeiro Vasconcelos - Bibliotecária
Maurício Alves Ferreira Santos - Estagiário de Geografia
Maurício Vieira Rios - Técnico em Prospecção
Maurina Soares Siqueira de Freitas - Técnico de Hidrologia
Michelle Rodrigues Araújo - Estagiária de Geografia
Neuro Rodrigues - Técnico de Hidrologia
Oswaldo Pereira dos Santos - Técnico de Hidrologia
Paulo César Santarém da Silva - Geólogo, M.Sc.
Terezinha Inácia Carvalho Pereira - Técnica em Cartografia
Sarah Costa Cordeiro - Ass. Tec. Especializado
Valdiva de Oliveira - Ass. Tec. Especializado
Valter Gonçalves de Araújo - Ass. Tec. Especializado
Wanda A. X. França - Ass. Tec. Especializado
Wilson Luís Féboli - Geólogo

APOIO TÉCNICO

Contribuição Técnica no Capítulo de Sedimentometria do Tema Hidrologia

Alice Silva de Castilho - Eng. Civil, M.Sc.

Digitalização de Mapas para o Tema Geologia:

José Geraldo de Souza - Técnico de Mineração
Lindouro Araújo Duarte - Técnico de Mineração

Editores Cartográfica e Composição de Leiaute Final:

Elizabeth Almeida Cadete Costa - Tec. em Cartografia
Rosângela Gonçalves Bastos de Souza - Geógrafa

Levantamento de Campo e Consistência de Dados Hidrogeológicos:

Georgete Macedo Dutra - Geóloga
Júlio de Freitas Fernandes Vasques - Prospector e
Hidrotécnico

Levantamento de Dados Secundários:

José do Espírito Santo Lima - Geólogo

Levantamento de Campo para os Temes Hidrogeologia e Hidrologia:

Antônio Luiz do Nascimento - Hidrotécnico
Gesler Ferreira - Técnico de Mineração
Luiz Fernando Zacarias - Técnico de Mineração

Normalização e Pesquisa Bibliográfica:

Maria Madalena Costa Ferreira - Bibliotecária

Organização de Banco de Dados e Levantamento de Campo para o Tema Geotecnia:

Nelson Baptista de Oliveira Rezende Costa - Geólogo

Tratamento de Dados Temáticos em GIS:

Carlos Augusto Silva Leite - Geólogo Supervisor
Márcio Antônio da Silva - Geólogo Supervisor, M.Sc.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

PROJETO APA SUL RMBH
Estudos do Meio Físico

Texto Explicativo - Mineração
Volume 2

Antônio Carlos Girodo - Eng. de Minas Consultor, Especialista



MINERAÇÃO

Belo Horizonte
2005

PROGRAMA GATE - INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

PROJETO APA SUL RMBH - ESTUDOS DO MEIO FÍSICO

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Superintendência Regional de Belo Horizonte

CPRM - Superintendência Regional de Belo Horizonte
Av. Brasil, 1731 - Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG - 30140-002
Fax: (31) 3261 5585
Tel: (31) 3261 0391
<http://www.cprm.gov.br>

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Projeto APA Sul RMBH: mineração, escala 1:50.000, Antônio Carlos Girodo.- Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

168p., v. 2: 1 mapa (Série Programa Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE). Versão digital e convencional.

Conteúdo: Projeto APA Sul RMBH - inclui 10 volumes de textos, mapas, quadros e fotos de campo.

1 Gestão Territorial Regional de Belo Horizonte. 2 - Meio ambiente. I - Título. II - Girodo, A. C, III - Série.

CDU 577.4

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos, instituições e empresas que contribuíram para o desenvolvimento das atividades do Projeto, em especial:

*Água Consultores Associados
Anex (Superfilito)
Anglogold
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC
Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA
Companhia Vale do Rio Doce - CVRD
Departamento de Estradas de Rodagem - DER
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM
Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais - FIEMG
Fundação João Pinheiro - FJP
Fundação Biodiversitas
Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM
Instituto Estadual de Florestas - IEF
Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM
Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR
Serviços de Hidrogeologia Ltda. - MDGEO
Mineral do Brasil
Pedras Congonhas
Prefeituras dos Municípios integrantes da APA Sul RMBH
Província Brasileira Congregação Missão (Santuário Caraça)
Rio Verde Mineração
SAMOTRACIA ALPHAVILLE
Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabirito
V & M Mineração Ltda*

RESUMO

O presente relatório trata do tema Mineração reportando-se ao levantamento da tecnologia mineira (no senso amplo) empregada pelas minerações da APA Sul RMBH e seu papel na geração de riquezas, dentro do contexto de desenvolvimento sustentável e de minimização dos impactos no meio ambiente.

A mineração é a principal atividade econômica do Quadrilátero Ferrífero, e conseqüentemente da APA Sul RMBH, cujos registros mais antigos datam ainda do século XVII e encontram-se associados aos principais núcleos populacionais. A situação atual da exploração configura-se como complexos mineiros de grande vulto, com relevante papel sócio-econômico para o Estado e para os municípios abrangidos

Os mais importantes minérios (metálicos) são, em primeiro lugar, minérios de ferro (hematita e itabiritos) e em segundo lugar, minérios de ouro. Outras substâncias metálicas de valor econômico correspondem ao alumínio (bauxita) e o manganês. O urânio é um minério que pode se tornar economicamente interessante. Ocorrem ainda na área outros metais como o antimônio.

Foi efetuada inicialmente uma ampla discussão sobre os aspectos primordiais que envolvem a mineração. Por fim, foi estabelecido o diagnóstico da atividade extrativa mineral com base nas informações disponíveis para as principais minerações de ferro e ouro, abrangendo os aspectos da prospecção, pesquisa, desenvolvimento, lavra, descomissionamento (quando da existência de projeto em vias de implantação) e dos impactos ambientais associados.

O cenário vigente é o progressivo abaixamento dos teores dos minerais-minério nas jazidas associado a exigências, cada vez mais rígidas, do mercado, acarretando a necessidade de se baixar todos os custos de produção de tal maneira a manter a competitividade do negócio e se possível aumentar o *market share* do empreendimento. A resposta a esse intrincado cenário tem sido a combinação dos métodos de concentração de minérios de ferro, a busca de melhorias nas tecnologias existentes, um conhecimento mais profundo dos minerais envolvidos no processo e a implementação de sistemas avançados de controle de processo que permitam a menor variabilidade das principais características de qualidade dos produtos.

Não obstante os benefícios que a mineração traz e pode trazer, há que se considerar que a lavra corresponde à retirada do minério do local onde se formou e se encontra a jazida e isto inexoravelmente representa um impacto no meio ambiente. Tem se procurado entender o fenômeno, quantificá-lo sempre que possível e em função do conhecimento gerado propor as medidas mitigadoras cabíveis. A razão do aumento da importância do impacto da mineração no meio ambiente nos últimos tempos é decorrência direta da elevada demanda da sociedade por minerais.

O futuro da mineração nas terras de Minas é promissor, mas permanece o desafio de lavar economicamente minérios mais pobres e complexos, cuidando bem da conservação dos recursos não-renováveis, sem prejudicar o meio ambiente e respeitando a saúde e integridade do trabalhador.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa de localização da APA Sul RMBH.	4
FIGURA 2 – Interpretação e construção de seções verticais	15
FIGURA 3 – Ganhos de produtividade com aumento na eficiência dos sistemas	19
FIGURA 4 – Lavra em bancada; cava fechada.	23
FIGURA 5 – Lavra em bancadas a meia encosta.....	24
FIGURA 6 – Britagem móvel dentro da cava (in pit crushin and conveying) e transporte por correiras. Sistema que visa a economia de energia.	24
FIGURA 7 – Lavra em tiras (“strip mining”).....	25
FIGURA 8 – Lavra em tiras (“strip mining”).....	26
FIGURA 9 – Draga de roda de caçamba.	27
FIGURA 10 – Draga sobre “skid”.	27
FIGURA 11 – Caçamba de arrasto.	28
FIGURA 12 – Retroescavadeira com roda de caçambas	28
FIGURA 13 – Arranjo geral esquemático. Mina subterrânea.	29
FIGURA 14 – Câmara e pilares.	30
FIGURA 15 – Lavra por subníveis. Furação paralela.	31
FIGURA 16 – Lavra por subníveis. Furação em leque.	32
FIGURA 17 – Lavra por recalque.....	32
FIGURA 18 – Corte e preenchimento.	33
FIGURA 19 – Longwall.....	33
FIGURA 20 – Abatimento por subníveis.	34
FIGURA 21 – Abatimento em blocos.	35
FIGURA 22 – Superfície idealizada de uma mina em planta	40
FIGURA 23 – Superfície idealizada de uma mina em perfil.	41
FIGURA 24 – Dispositivo “down the hole”.	49

FIGURA 25 - Cross Bit para perfuratrizes down the hole.....	49
FIGURA 26 - Button Bit para perfuratrizes down the hole.....	49 □ □
FIGURA 27 – Bit rotativo para rochas macias	50
FIGURA 28 – Bit rotativo para rochas de média consistência.....	51
FIGURA 29 – Bit rotativo para rochas duras.....	51
FIGURA 30 – Bit rotativo de carbeto de tungstênio para rochas muito duras.....	52
FIGURA 31 - Distribuição de energia elétrica.....	60
FIGURA 32 – Metodologia para projetar taludes das minas a céu aberto (HOEK e BRAY, 1993).....	62
FIGURA 33 - Desenho esquemático de barragem de rejeito.....	85
FIGURA 34 – Recursos para o desenvolvimento sustentável.....	91
FIGURA 35 – Mapa das Principais Feições Estruturais do Quadrilátero Ferrífero (Baltazar e Zuchetti, 2005, modificado de Chemale Jr. et al, 1994).....	99
FIGURA 36 – Seção geológica esquemática da mina de Águas Claras (apud Gomes, 1986).....	101
FIGURA 37 – Seção geológica esquemática da mina da Mutuca (apud Gomes, 1986).....	102
FIGURA 38 - Variogramas da partição grosseira (lump ore) de uma importante mina da APA Sul RMBH.....	109
FIGURA 39 - Circuito misto, células convencionais e colunas.....	115
FIGURA 40 – Circuito de separação magnética da Mina da Mutuca.....	116
FIGURA 41 – Fluxograma de Processo de Lixiviação em pilha em Fazenda Brasileiro, Teofilândia-BA.....	117
FIGURA 42 – Mapa de localização das minas na APA Sul RMBH.....	121
FIGURA 43 - Fluxograma do Beneficiamento de Águas Claras.....	124
FIGURA 44 – Fluxograma de beneficiamento da mina da Mutuca.....	127
FIGURA 45 – Fluxograma da instalação de britagem e homogeneização de Capanema.....	131
FIGURA 46 – Fluxograma da ITM A, Complexo do Pico do Itabirito.....	135
FIGURA 47 – Fluxograma da ITM B, Complexo do Pico do Itabirito.....	135
FIGURA 48 – Fluxograma da ITM D, complexo do Pico do Itabirito.....	136
FIGURA 49 – Beneficiamento no Complexo Tamanduá-Capitão do Mato. ITM de Vargem Grande.....	142
FIGURA 50 – Fluxograma de Beneficiamento da Mina da Jangada.....	145
FIGURA 51 a e b – Excertos de Planejamento Mineiro da Mina de Córrego do Feijão.....	148
FIGURA 52 – Fluxograma do Processamento Mineral para a Mina Córrego do Feijão.....	150
FIGURA 53 – Planta de Lixiviação em Pilha para a Mina Córrego do Sítio.....	158

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADROS

QUADRO 1 Classificação de jazidas de minério de ferro (<i>apud</i> MARSDEN, 1990).....	7
QUADRO 2 - Seleção de Métodos de lavra	35
QUADRO 3 - Métodos de concentração de minérios de ferro brasileiros	114
QUADRO 4 – Tipos de minérios de Capanema (Mitsubishi Mining and Cement Co.).....	129
QUADRO 5 – Concessões do Grupamento Mineiro n° 99/89.	131
QUADRO 6 – Equipamentos principais de lavra nas minas do Pico, Sapecado e Galinheiro.....	133
QUADRO 7 – Equipamentos principais de lavra na Mina de Abóboras.....	133

TABELAS

TABELA 1 - Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.....	5
TABELA 2 - Classificação de minérios de ferro quanto ao seu teor.....	8
TABELA 3 - Especificações de sondagem	13
TABELA 4 - Comparação dos custos energéticos de explosivos.....	53
TABELA 5 - Distribuição da Água no Planeta.....	76
TABELA 6 - Níveis de ruídos de instalações fixas.....	80
TABELA 7 - Níveis de ruídos de equipamentos móveis.....	81
TABELA 8 – Estatística de Rupturas de Barragens de Rejeitos	86
TABELA 9 – Resultados de avaliação geoestatística para uma mina de ferro na APA Sul RMBH ...	112
TABELA 10 - Principais minas da APA Sul RMBH.....	120
TABELA 11 – Partição de produtos resultantes da alimentação proveniente do minério Mutuca.	128
TABELA 12 – Qualidades Granulométricas e Químicas dos Minérios de Capanema	129
TABELA 13 – Recursos minerais da área do Pico do Itabirito e adjacências.	132
TABELA 14 – Recursos minerais da área de Abóboras.....	133
TABELA 15 – Programas de produção a longo prazo para o Complexo do Pico	134
TABELA 16 – Características dos produtos gerados nos ITM do Grupamento do Pico do Itabirito ..	138
TABELA 17 – Distribuição Granulométrica de Hematitas e Itabiritos para o Depósito de Tamanduá.	139

TABELA 18 – Distribuição Granulométrica de Hematitas e Itabiritos para o Depósito de Capitão do Mato	140
TABELA 19 - Minas da MBR em Operação	146
TABELA 20 - Minério Beneficiado pelas Instalações de Tratamento da MBR.	147
TABELA 21 - Recursos Minerais da Mineração Rio Verde	151
TABELA 22 – Qualidade Média dos Produtos da ITM-3	152
TABELA 23 – Qualidade Média dos Produtos na ITM-4	153

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 a e b - Métodos de investigação por sondagem rotativa diamantada.	12
FOTO 2 - Testemunhos de sondagem	14
FOTO 3 – Trator de esteira	43
FOTO 4 – Equipamento de terraplanagem, Scraper.	43
FOTO 5 – Perfuratriz a percussão para furos com 6 ½” de diâmetro.....	45
FOTO 6 – Perfuratriz rotativa	45
FOTO 7 – Mina do Barreiro (Nióbio), Araxá, MG.....	71
FOTO 8 – Mina Corriola (Níquel e Cobalto), Niquelândia, GO.....	71
FOTO 9 - Mina de Casa de Pedra (Ferro), Congonhas, MG.....	72
FOTO 10 - Mina N4, Carajás (Ferro), Parauapebas, PA.....	72
FOTO 11 - Pilha de Estéril Revegetada, Mina de Canabrava, (Crisotila), Minaçu, GO.	73
FOTO 12 – Instalação de tratamento de minério da Mina de Timbopeba, (Ferro), Mariana, MG.....	74
FOTO 13- Planta Metalúrgica do Macedo (Níquel e Cobalto), Niquelândia, GO.	75
FOTO 14 – Barragem de rejeitos da Mina de Águas Claras, ferro, Nova Lima, MG.....	86
FOTO 15 – Mina de Águas Claras, hoje desativada.....	123
FOTO 16 - Instalação de Tratamento de Minério (ITM-D) do Complexo do Pico do Itabirito	136
FOTO 17 – Britagem dentro da cava e caminhões de pequeno porte no minério	141
FOTO 18 – Caminhão fora de estrada (no estéril) da Mina de Tamanduá	141
FOTO 19 – Mina do Córrego do Feijão.....	149
FOTO 20 – Vista da Mina Rio Verde.	153
FOTO 21 – Instalação de Tratamento de Minério – ITM-3.....	154
FOTO 22 – Instalação de Tratamento de Minério – ITM-4.....	154

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Lista de figuras	iii
Lista de quadros e tabelas	v
Lista de fotos	vii
1. Introdução.....	1
2. Histórico da criação da APA Sul RMBH.....	2
3. Localização e extensão territorial da APA Sul RMBH	4
4. Considerações iniciais.....	6
4.1 Pesquisa mineral	6
4.1.1 - Introdução aos Minérios de Ferro. Tipos e Classificação.....	6
4.1.2 - Fases da Mineração	9
4.1.3 - Pesquisa Mineral	9
4.1.3.1 - Topografia e Modelamento de Terreno	10
4.1.3.2 - Sondagem para Informações Geológicas	10
4.1.3.3 - Mapeamento Geológico de Superfície e de Subsuperfície	14
4.1.3.4 - Exploração Geofísica.....	15
4.1.3.5 - Amostragem de Minérios: massas específicas e teores	15
4.1.3.6 - Avaliação de Recursos / Reservas.....	17
4.1.4 - Comentários Finais	18
4.2 Mineração	18
4.2.1 - Notas sobre o Planejamento Mineiro.....	37
4.2.2 - Descapamento (Stripping)	42
4.2.3 - Perfuração de Rochas	44
4.2.4 - Desmonte por Explosivos	52
4.2.5 - Carregamento	55

4.2.6 - Transporte.....	56
4.2.7 - Operações de Suporte e Sistemas Especializados.....	57
4.3 Processamento mineral.....	65
4.3.1 - Objetivos do Tratamento de Minérios, Operações Unitárias e Extração Metalúrgica.....	65
4.4 Impactos da mineração no meio ambiente.....	67
4.4.1 – Amplitude e Importância dos Problemas Ambientais na Mineração.....	68
4.4.2 – Principais Impactos de Mineração ao Meio Ambiente e Formas de Mitigá-los.....	69
4.4.2.1 - Impacto Visual.....	70
4.4.2.2 - Poluição do ar.....	75
4.4.2.3 - Impacto no Meio Hídrico.....	76
4.4.2.4 - Ruídos (exclusive o Golpe de Ar, Air Blast, das Detonações).....	79
4.4.2.5 – Vibrações no Terreno por Detonações.....	81
4.4.2.6 – Golpe de Ar (Air Blast).....	82
4.4.2.7 – Recuperação de Área Degradada.....	83
4.4.2.8 - Barragem de Rejeitos.....	84
4.4.2.9 – Fechamento de Mina.....	87
4.5 - Observações Gerais sobre a Lavra de Minas na APA Sul RMBH.....	89
5. A Aplicação e Importância do Tema para o ZEE da APA Sul RMBH.....	90
5.1. Mineração e Desenvolvimento Sustentável.....	90
5.2 Importância do Entendimento do Tema Mineração para o ZEE da APA Sul RMBH.....	93
6. Materiais e Métodos.....	96
7. Recursos Minerais da APA Sul RMBH e Sua Exploração.....	98
7.1 Substâncias Metálicas.....	99
7.1.1 – Ferro.....	99
7.1.2 – Ouro.....	100
7.1.3 – Alumínio (Bauxita).....	103
7.1.4 – Urânio.....	103
7.1.5 – Manganês.....	104
7.1.6 – Antimônio.....	104
7.2. Substâncias Não Metálicas.....	104
7.2.1 – Areias.....	104
7.2.2 – Argilas.....	104
7.2.3 – Calcários Dolomíticos e Dolomitos.....	105
7.2.4 – Serpentinó.....	105
7.2.5 – Granitos.....	105
7.2.6 – Outros Minerais.....	105
7.3 Exploração Mineral.....	105
7.4 Processamento de Minérios e Extração Metalúrgica na APA Sul RMBH.....	112
7.4.1 - Beneficiamento dos Minérios de Ferro.....	112

7.4.2 - Lixiviação em Pilhas de Minérios Oxidados de Ouro.....	116
8. Mineração na APA Sul RMBH e os impactos associados	118
8.1 Minerações de Ferro.....	119
8.1.1 – Mina de Águas Claras.....	122
8.1.2 – Mina de Mutuca.....	125
8.1.3 – Mina Capanema.....	128
8.1.4 – Complexo Mineiro do Pico do Itabirito	131
8.1.5 – Complexo Tamanduá – Capitão do Mato	139
8.1.6. Mina da Jangada.....	143
8.1.7 – Mina de Capão Xavier.....	146
8.1.8. Súmula das Operações da MBR na APA Sul RMBH	146
8.1.9 – Mina de Córrego do Feijão.....	147
8.1.10 – Mineração Rio Verde	149
8.1.11 – Mina do Pau Branco.....	154
8.1.12. Outras minas de ferro	155
8.2. Minas de Ouro	155
8.2.1 – Mina de Córrego do Sítio	155
8.2.2 – Mina do Engenho D'Água	159
8.2.3 – Minas do Faria e Esperança III	159
8.2.4 – Outras minerações.....	159
9. Conclusões.....	160
10. Referências Bibliográficas.....	162
Glossário	165

1. INTRODUÇÃO

O Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, instituído pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais, tem por meta constituir-se num instrumento de apoio e orientação à gestão ambiental da APA, criando e desenvolvendo mecanismos legais e técnicos que possibilitem a conservação e proteção do meio ambiente em todo seu território. Objetiva, ainda, tornar-se um instrumento capaz de fornecer orientações programáticas e respectivas normas gerais para disciplinamento e adequação da ocupação e uso do solo e dos recursos naturais, na sua área de abrangência, segundo o modelo de desenvolvimento sustentável.

Os objetivos básicos da APA Sul RMBH estão definidos no Art. 2º da Lei Estadual nº 13.960 de sua criação e correspondem à “proteção e conservação dos sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e das áreas adjacentes, com vistas à qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentável”, justificando a realização dos estudos.

As justificativas de ordem institucional estão contidas na mesma Lei em seu artigo 3º item I e artigo 4º, parágrafo 2º, a seguir transcritos:

“Art. 3º – Para implantação da APA Sul RMBH, serão adotadas as seguintes providências:

I – zoneamento ecológico e econômico, com o respectivo sistema de gestão colegiado, ...”

“Art. 4º, parágrafo 2º – o zoneamento ecológico e econômico indicará as atividades a serem encorajadas em cada zona e as que deverão ser limitadas, restringidas ou proibidas, de acordo com a legislação aplicável”.

Os relatórios das atividades relativas ao meio físico ora apresentados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, fazem parte do conjunto de dados e informações que comporão o banco de dados do Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, sob responsabilidade da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais.

2. HISTÓRICO DA CRIAÇÃO DA APA SUL RMBH

A legislação ambiental brasileira possui dispositivos específicos que disciplinam o sistema de unidades de conservação, estabelecendo categorias de uso direto e indireto, conforme Decreto Federal nº 33.944 de 18 de setembro de 1992. A Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, bem mais específica, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC e em seu Art. 14 enquadra as unidades que constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável, do qual fazem parte as Áreas de Proteção Ambiental – APAs. O Art. 15 dessa mesma lei define APA como sendo *“uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”*.

Devido aos atributos dos meios físico e biótico, estéticos, culturais e econômicos significativos da região sul de Belo Horizonte, houve necessidade de se criar uma unidade de conservação que pudesse normatizar e disciplinar seu uso e ocupação. Desse modo, criou-se a APA Sul RMBH, cuja motivação deveu-se ao imenso potencial hídrico, à rica biodiversidade, aos aspectos sócio-culturais e econômicos profundamente ligados a uma tradição minerária, responsável pelo surgimento de núcleos populacionais desde o século XVIII, com o advento do ciclo do ouro e, posteriormente, com a mineração de ferro. É uma região que sofre uma forte pressão da expansão urbana de parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, principalmente em direção aos municípios de Nova Lima e Brumadinho, com riscos de comprometimento do equilíbrio natural da região, podendo vir ocasionar conseqüências sérias para o meio ambiente.

Segundo informações da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, a demanda pela criação de uma APA na região sul de Belo Horizonte surgiu, inicialmente, de uma associação de proprietários de “residências de fins de semana” da localidade de São Sebastião de Águas Claras, também denominada de Macacos. Posteriormente a idéia foi levada ao Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, ampliando-se o debate em torno da viabilidade de sua criação.

As discussões e avaliações técnicas entre os vários setores atuantes na região, por meio de debates e seminários realizados com o aval do COPAM, redundaram no estabelecimento da APA Sul RMBH, através do Decreto Estadual nº 35.624, de 08 de junho de 1994, posteriormente alterado pelo Decreto Estadual nº 37.812, de 08 de maio de 1996. Em 26 de

julho de 2001, através da Lei Estadual nº 13.960, foi estabelecida a redação definitiva do texto de criação da APA Sul RMBH.

3. LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO TERRITORIAL DA APA SUL RMBH

A APA Sul RMBH, com uma extensão de 1625,32 km², localizada ao sul da RMBH, engloba parte dos municípios de Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibirité, Itabirito, Mário Campos, Nova Lima, Raposos, Santa Bárbara, Sarzedo e todo o município de Rio Acima (FIG. 1), com limites geográficos definidos em memorial descritivo anexo à Lei de criação. Os municípios de Nova Lima, Rio Acima, Itabirito e Santa Bárbara, compõem mais de 85% do território da APA (TAB. 1). A área é servida pelas rodovias federais BR-040 e BR-356 e por rodovias estaduais e municipais, em sua maioria de tráfego permanente.



FIGURA 1 - Mapa de localização da APA Sul RMBH.

**TABELA 1 -
Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.**

Municípios	Área total do município (km²)	Participação na APA (km²)	Equivalente em %
Barão de Cocais	342,00	4,39	0,27
Belo Horizonte	335,00	34,37	2,11
Brumadinho	634,00	176,43	10,86
Caeté	528,00	39,55	2,43
Catas Altas	240,30	75,59	4,65
Ibirité	145,00	17,71	1,09
Itabirito	553,00	259,26	15,95
Mário Campos	37,00	11,62	0,71
Nova Lima	410,00	378,16	23,27
Raposos	77,00	39,75	2,45
Rio Acima	228,06	228,06	14,03
Santa Bárbara	859,00	337,82	20,78
Sarzedo	62,17	22,61	1,39
TOTAL		1625,32	100,00

Fonte: [Enciclopédia](#) dos Municípios Mineiros/Vol. 1, 1998; Rio Acima (Instituto de Geociência Aplicada - IGA/MG); Catas Altas (PRODEMGE)

4. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

4.1 Pesquisa Mineral

Os processos geológicos atuantes no Planeta Terra, desde a sua remota origem há 4,7 bilhões de anos até os dias atuais, criaram em vários locais jazidas minerais de valor econômico. A humanidade necessita dos minerais destas jazidas para sobreviver, sendo que o consumo dos mesmos vem ocorrendo em escalas crescentes. Nos tempos modernos, para suprir a coletividade de minerais necessários, as empresas de mineração costumam estabelecer escritórios de exploração regionais, cujo intuito é localizar os depósitos minerais que necessitam (prospecção). Encontrado o depósito de possível interesse econômico, a próxima etapa é investigar as suas qualidades, aprofundando-se no conhecimento do mesmo, avaliando as massas mineralizadas (tonelagens) e seus conteúdos químicos (teores) e qualidades físicas, comprovando a viabilidade técnica e econômica de seu aproveitamento etc.

Em função da importância do assunto, este item é devotado à Pesquisa Mineral, a denominada segunda fase da mineração (Prospecção, depois Pesquisa, Desenvolvimento e Lavra) como será detalhado mais adiante. Uma vez que o principal bem mineral que permeia os terrenos da APA Sul RMBH é o ferro, julgou-se mais oportuno particular este capítulo para a pesquisa de minérios de ferro, porém, *mutatis mutandi*, o que é aqui exposto, vale para todos os outros bens minerais.

4.1.1 Introdução aos Minérios de Ferro. Tipos e Classificação.

Entende-se por jazida de minério de ferro um corpo geológico (ou conjunto de corpos geológicos) de porte suficiente, de composição química e características físicas satisfatórias, bem como dotado de qualidades econômicas capazes de transformá-lo numa atual ou potencial fonte do metal ferro. Não existem limites pré-estabelecidos quanto ao porte, conteúdo metálico (teor) ou constituição mineralógica, pois esses parâmetros variam largamente nas diversas jazidas. A localização geográfica, a existência ou não de outra fonte de minério de ferro concorrente, as características do mercado, a infra-estrutura disponível e especialmente a logística de transporte etc. definem a viabilidade econômica de todo e qualquer depósito de ferro.

O elemento ferro representa aproximadamente 5% da crosta terrestre; é um constituinte comum de centenas de minerais e rochas e, em pequenas quantidades, possui distribuição praticamente universal. O ferro geralmente ocorre em seus minérios sob a forma de óxi-minerais tais como a hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4) e goetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e mais

raramente como maghemita (Fe_2O_3) e lepidocrocita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). O mineral ilmenita (FeTiO_3) pode ocorrer em pequena proporção associada a alguns minérios de ferro. Alguns pequenos corpos de minério com suficiente conteúdo de siderita (FeCO_3) são eventualmente explotados como minério de ferro em Michipicoten, Ontário, Canadá. Na América do Norte se explotou alguns sulfetos, como pirita (FeS_2), marcasita (FeS_2) e pirrotita (Fe_{1-x}S), decompostos sob a forma de chapéu de ferro (*gossans*) e com remoção de metais básicos e enxofre, como suprimento de ferro. Os silicatos de ferro com mais que 25% de sílica não são geralmente considerados como mineral-minério de ferro mas podem eventualmente tomar parte de taconitos magnéticos da América do Norte (Estados Unidos e Canadá) e em minérios de Minette, na França. Silicatos de ferro costumam representar fontes secundárias (supergênicas) de ferro de minerais oxidados primários de ferro (hipogênicas).

Os minérios de ferro ocorrem numa grande variedade de ambientes geológicos, dando origem a depósitos minerais de diferentes portes, formas, origens, constituições mineralógicas e características. A diversidade da natureza geológica desses minérios deve ser muito reconhecida pelos profissionais das múltiplas especialidades (geólogos, engenheiros de minas, metalurgistas etc.) para bem pesquisar, planejar a lavra, o processamento, a metalurgia e enfim para tirar o melhor partido na valorização do jazimento mineral. Inobstante, a singularidade de cada depósito mineral, pode-se agrupá-los em função de suas diversas características, de acordo com os diferentes tipos de jazimentos de ferro, como no QUADRO 1 (MARSDEN, 1990) que representa uma base razoável para se conduzir pesquisas minerais, avaliações, anteprojetos e projetos diversos e planejamentos mineiros.

QUADRO 1
Classificação de jazidas de minério de ferro (*apud* MARSDEN, 1990)

I - Depósitos sedimentares e metassedimentares
A) Formações ferríferas pré-cambrianas com <i>chert</i>
1. Taconitos magnéticos
2. Jaspelitos
3. Itabiritos
4. Minérios sideríticos
B) <i>Ironstones</i>
C) Minérios (de ferro) clásticos
II - Depósitos magmáticos
A) Minério tipo Kiruna
B) Depósitos de titanita magnetítica
III - Minérios de metassomatismo de contacto
IV - Minérios maciços em formações ferríferas com <i>chert</i>
V - Depósitos residuais
A) Depósitos do tipo Lago Superior
B) Minério do tipo oxibif
C) Cangas e minérios de terraços fluviais
D) Minérios marrons
E) Minérios lateríticos

Foge do escopo dessas notas descrever de forma detalhada todas essas classes de jazidas de minério de ferro, remetendo o leitor a textos pertinentes (MARS DEN, 1990, JAMES *et al.*, 1973, *inter alia*), caso deseje se aprofundar no assunto. Ressalta-se, todavia, que o entendimento o mais aprofundado possível de cada uma destas classes de jazimento é de fundamental importância para bem planejar, modelar, avaliar, desenvolver, lavar e beneficiar e utilizar os concentrados desses minérios.

Em termos tecnológicos e econômicos, notadamente no contexto brasileiro (mas também no contexto internacional), pode-se dizer que as mais importantes dessas classes de minério reportam-se aos minérios itabiríticos e jaspelíticos, associados a formações ferríferas proterozóicas, dobradas, redobradas e falhadas em vários ciclos tectônicos e enriquecidos por processos de lixiviação intempérica (DORR, 1964 e 1969). As formações ferríferas pré-cambrianas com *chert* correspondem a uma família de rochas de origem sedimentar química, finamente laminadas ou acamadadas, contendo um elevado teor de ferro além de sílica coloidal, carbonatos e silicatos. A origem dessas formações é controversa apesar de amplamente discutida na literatura. Depósitos de grande porte dessa natureza são encontrados no Brasil, Austrália, USA, Canadá, Oeste Africano etc.

Alguns termos usados para esses tipos de minério são:

- **Itabirito:** trata-se de uma formação ferrífera bandada, de fácies óxido, metamorfozada onde as bandas originais de *chert* ou jaspe, foram recristalizadas em grãos macroscópicos de quartzo, e o ferro se faz presente em finas camadas de hematita ou magnetita;
- **Taconito:** o termo foi cunhado para designar a formação ferrífera bandada, extremamente dura e de textura muito fina, composta essencialmente de *cherts* e magnetitas;
- **Jaspelito:** o termo original foi voltado às formações ferríferas bandadas, de idade proterozóica, do oeste australiano. O termo encontra-se em desuso e hoje é utilizado para descrição de formações ferríferas não metamorfisadas como as ocorrentes nos depósitos de Urucum, no Mato Grosso do Sul, Mutum, na Bolívia e até para o protominério de Carajás.

No Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais costuma-se usar a designação de itabirito para minérios de ferro pobres ($Fe < 64\%$) e hematita para o minério de ferro rico ($Fe \geq 64\%$).

Por sua vez, os itabiritos costumam também ser classificados como rico, médio e pobre em função de seu conteúdo hematítico, conforme a TAB. 2 que segue:

TABELA 2 - Classificação de minérios de ferro quanto ao seu teor

MINÉRIO	<i>Itabirito pobre</i>	<i>Itabirito médio</i>	<i>Itabirito rico</i>	<i>Hematita</i>
Conteúdo Hematítico (%)	Hm < 74	$74 \leq Hm < 83$	$83 \leq Hm < 91,43$	Hm $\geq 91,43$
Teor (%Fe)	Fe < 52	$52 \leq Hm < 58$	$58 \leq Hm < 64$	Hm ≥ 64

4.1.2 Fases da Mineração

Os textos clássicos de Engenharia de Minas (v.g. PEELE, 1957) costumam se referir a quatro fases da mineração, nomeadamente: prospecção, pesquisa, desenvolvimento e lavra.

- Prospecção: corresponde às técnicas de procura de minérios (sem os quais a civilização moderna entra em colapso);
- Pesquisa (ou exploração): corresponde à execução do conjunto de trabalhos e estudos necessários à definição da jazida mineral, seu modelamento e avaliação, culminando com a demonstração técnica e econômica da viabilidade de seu aproveitamento;
- Desenvolvimento: corresponde aos serviços mineiros empreendidos para facultar a lavra da jazida. Naturalmente esses serviços pressupõem que o depósito esteja convenientemente pesquisado pois não seria razoável a execução desses serviços preparatórios à produção caso a pesquisa ainda deixasse a desejar e fosse antevista uma lavra arriscada ou problemática;
- Lavra: corresponde ao ato, processo ou trabalho voltados especificamente à extração do minério de seu local de origem e transporte do mesmo ao ponto de uso ou de processamento.

Os autores contemporâneos costumam introduzir uma Quinta Fase nos trabalhos de mineração que corresponde à recuperação dos terrenos degradados pelas atividades mineiras e desativação (ou descomissionamento) da mina.

4.1.3 Pesquisa Mineral

A pesquisa mineral tem por objetivos estabelecer um modelo, avaliar a jazida e levantar um importante conjunto de dados subsidiários, os mais próximos possíveis da realidade, para suportar estudos e projetos diversos, visando o estabelecimento do empreendimento mineiro. Repare que se falou de precisão da pesquisa como suporte a decisão de investir e essa avaliação deve ser a melhor possível, pois estudos mal-feitos levam a riscos de não se recuperar o valor do investimento, muitas vezes da ordem de milhões ou eventualmente até de alguns bilhões de dólares, em projetos maiores. É preciso entender que a pesquisa mineral não se reporta apenas a uma conta de chegada de tonelagens e teores do minério, mas sim no resultado de uma investigação bastante completa que deve levantar informações técnicas-econômicas as mais diversas entre as mesmas: o dimensionamento do mercado comprador e as projeções de preços, a infra-estrutura disponível, caracterizações do minério e informações geometalúrgicas, características mecânicas dos minérios e estereis que se vai trabalhar, informações hidrológicas e hidrogeológicas como possibilidades da mina ser inundada, dificuldades que se pode esperar de extração mineral com interferência em aquíferos, informações concernentes sobre possíveis impactos ambientais etc. Os profissionais que executam esta relevante tarefa deve pois ter um conhecimento muito grande de uma série de ciências e tecnologias bastante diversificadas tais como geografia, geologia, matemática avançada, tecnologias diversas, economia, humanidades etc.

Os projetos de mineração são normalmente levados a cabo por aproximações sucessivas, passando por vários estágios de estudos e tomadas de decisões (v.g. estudos preliminares, estudo de viabilidade econômica, estudo de viabilidade econômica avançado, projeto básico, projeto detalhado etc.) e um retrato bem feito desse encaminhamento pode ser visto em Girodo e Beraldo (1981), Hustrulid e Kuchta (1995) *inter alia*. Um estudo em nível preliminar permite erros da ordem dos 30 % ou pouco mais; num estudo de viabilidade a precisão é da ordem dos 20% e num projeto básico a confiabilidade é da ordem dos 25 a

10%. Quando se chega ao detalhamento (projeto detalhado ou executivo) essa precisão alcança a casa dos 5%.

A pesquisa mineral envolve atividades as mais diversas como a realização de levantamentos topográficos e modelamento de terrenos, abertura de trincheiras, poços de pesquisa e galerias, execução de sondagens diversas, amostragem de minérios, caracterizações de minérios para vários propósitos, análises químicas e físicas, dentre elas a determinação das massas específicas ou densidades absolutas dos vários materiais, estudos petrográficos, ensaios de tratamento de minério em escala de bancada (*batch*), planta piloto e eventualmente até industrial, perfuração de poços hidráulicos e execução de testes de vazão etc., mapeamentos geológicos diversos tanto de superfície quanto de subsuperfície, montagem do banco de dados das pesquisas, modelamento geológico do depósito em três dimensões com apoio em softwares de mineração (entre eles o Datamine, Vulcan, Gemcom e Med System), elaboração do modelos de blocos do depósito mineral e avaliação de recursos e até estudos e projetos de engenharia, como estabelecimento de cava ótima da mina e o seqüenciamento da produção mineira para efetivamente quantificar as reservas minerais. Repare que neste parágrafo se falou de recursos e reservas, recordando-se que modernamente se refere pela palavra recursos as massas mineralizadas *in situ* (ou seja o inventário mineral da jazida) e por reservas apenas o minério que efetivamente é possível se extrair do jazimento e aproveitá-lo técnica e economicamente. Existe pois uma notável redução de massas quando se passa de recursos para reservas.

Em seqüência, descreve-se, de maneira bastante breve, alguns estudos, trabalhos e aspectos mais críticos das pesquisas minerais.

4.1.3.1 Topografia e Modelamento de Terreno

Os levantamentos topográficos são hoje feitos com os modernos aparelhos denominados estação total que conjugam teodolitos ópticos, capazes de medir ângulos com precisão de fração de segundos (auxiliados por um nônio) e distanciômetro a laser visível e infra vermelho, capaz de medir distâncias de ordem de 7 km com precisão de alguns poucos milímetros. A saída dessas medidas é transferida, sem a interferência humana, para um computador pessoal que, dotado de software pertinente, traça o mapa plani-altimétrico do terreno, com alto grau de precisão e confiabilidade.

Tomadas ulteriores de pontos no terreno, como por exemplo a locação de afloramentos visitados pela geologia, costumam ser feitos por GPS (*Global Positioning System*) diferencial.

4.1.3.2 Sondagem para Informações Geológicas

A maneira mais rápida, prática e barata de se acessar diretamente informações geológicas de subsuperfície é a partir de sondagens. As sondagens tomam parte ubiquamente nos programas de investigação e pesquisa geológicas, desde a etapa mais preliminar dos trabalhos, passando pelas pesquisas geológicas, controle da produção, até a depleção do jazimento, podendo se relacionar às seguintes fases do estudo.

- a) Orientação: em distritos mineiros em operação com certeza já existem muitos furos de sondagem realizados, mas ainda muitos problemas de prospecção pendentes. Costuma-se, nestas situações, realizar furos adicionais para orientar novas prospecções.
- b) Reconhecimento: alguns furos de sondagem são levados a cabo para propósitos de reconhecimento da estratigrafia regional ou levantamentos de litologias, especialmente para o caso de depósitos minerais do tipo estratóide (*stratabound*).
- c) Investigações de áreas alvo: são feitos furos em áreas alvo para se obter informações básicas de estruturas, estratigrafia e padrões de zoneamento do depósito e, notadamente, para apoiar interpretações de levantamentos geológicos.

- d) Testes de alvos de pesquisa: são executados furos prospectivos para se comprovar ou não a presença de minérios ou outras feições em alvos de interesse. Por exemplo, seja uma jazida de ferro do tipo que se faz presente no Quadrilátero Ferrífero em que se quer demonstrar ou não a sua continuidade lateral. Para isto, basta fazer um ou alguns furos de verificação. Tem-se observado prejuízos de milhões de dólares, em algumas minas do Quadrilátero Ferrífero, por não se ter lançado mão do simples expediente aqui apontado, quando por exemplo são feitas edificações ou lançado estéril sobre minério rico.
- e) Avaliação: os primeiros furos para avaliação do depósito/corpos mineralizados são feitos com o intuito de delinear o(s) corpo(s) de minério. Estando os corpos de minério já delineados, seguem os furos de adensamento de malha (*in-fill drilling*) para determinar a lei da variação dos teores, ou outras características, no interior dos corpos de minério.
- f) Pré-produção: seja um depósito de minério que se encontra prestes a se transformar numa jazida e quando entrar em operação torna-se-á uma verdadeira mina. Neste caso, costumam ser feitas sondagens adicionais para resolver problemas diversos, como a investigação de detalhes pertinentes à geologia, a delimitação mais precisa de um determinado corpo de minério, para conhecer com maior precisão as regiões das minas que serão lavradas num prazo mais curto (v.g. prazo de um a três anos), para aumentar a precisão na avaliação de recursos em nível de blocos, para comprovar áreas efetivamente estéreis a serem ocupadas por utilidades, facilidades, pilhas de estéril ou mesmo depósitos de rejeitos etc. São ainda feitos furos de pré-produção para propósitos de coleta de material para ensaios metalúrgicos, investigações geotécnicas, ou mesmo, para se comprovar ou reforçar algumas informações de interesse no projeto de engenharia.
- g) Mineração: os serviços de sondagem costumam continuar por toda a vida da mina, sob a supervisão do engenheiro da mina e/ou do geólogo residente. Sempre ocorrem problemas a serem encaminhados, como a eventual ampliação das reservas, o detalhamento das reservas existentes etc., de grande relevância para o apoio ao planejamento mineiro.
- h) Iminente depleção: são eventualmente realizadas verdadeiras sondagens de desespero quando torna-se iminente a exaustão das reservas e fechamento da mina.

Dentre os métodos disponíveis de investigação por sondagem, pode-se destacar três, nomeadamente: sondagem rotativa diamantada (FOTOS 1a e b), sondagem rotativa e sondagem a percussão:

- Sondagem rotativa diamantada: é o método de investigação geológica mais versátil e confiável que se conhece, projetado especialmente para a exploração mineral. Os equipamentos e os procedimentos dessa classe de sondagem encontram-se descritos, em alto grau de detalhe, em livros textos apropriados como o Peters (1978), Cumming e Wicklund (1975) e Huarte (1977). A sondagem rotativa diamantada é relativamente cara, porém pode ser executada indiferentemente em minerações a céu aberto ou subterrâneas, sendo que seus furos podem ser lançados de qualquer ângulo. A sondagem rotativa diamantada é o único método capaz de levantar a informação completa da estrutura geológica do terreno perpassado e da textura da rocha cortada.

Ao lado das boas qualidades desse tipo de sondagem torna-se necessário considerar as suas limitações. É praticamente impossível recuperar convenientemente o testemunho em certos tipos de terreno, como aqueles com rochas muito fraturadas ou muito abrasivas a um custo razoável. Existem ainda alguns artifícios especiais para recuperar o testemunho em rochas macias (desenhos especiais de barrilete), porém a recuperação é sempre dificultosa e pode causar erros sistemáticos na amostragem. O desempenho da sondagem é ampliado

com o uso de lamas especiais para melhorar a recuperação mas eventualmente torna-se necessário recuperar a lama que contém os fragmentos da rocha cortada.

Na sondagem rotativa diamantada a amostra é cortada por uma coroa cravejada de diamantes e o testemunho (FOTO 2) é recolhido num tubo interno do barrilete e depois trazido à superfície recolhendo-se as sucessivas hastes. Na sondagem a *wire line*, amplamente usada, quando se deseja alta produção, o tubo interno contendo o testemunho já destacado da rocha é içado internamente às hastes, sem remover as hastes do tubo.



FOTO 1 a e b - Métodos de investigação por sondagem rotativa diamantada.

A sondagem em diâmetros menores é sempre mais barata, porém geólogos e metalurgistas geralmente defendem diâmetros maiores. Na Europa o diâmetro da sondagem é geralmente especificada em milímetros porém, na América do Norte, costuma-se usar o código de letras, assinalado abaixo na TAB 3.

TABELA 3 - Especificações de sondagem

<i>Código de Tamanho</i>	<i>Diâmetro do Testemunho (mm)</i>	<i>Diâmetro do Furo (mm)</i>
XR	18,3	30
EX	21,4	36
EXT	23,8	36
AX	29,4	47
AXT	32,5	47
BX	42,1	59
NX	54,8	75

Tamanhos maiores de testemunhos de sondagem são associados diretamente aos seus testemunhos em mm ou mesmo em polegadas abandonando-se o código de letras. A primeira letra do código refere-se ao diâmetro do furo e a segunda letra indica o código de série do barrilete. A terceira letra, T, indica a parede fina (*thin*) para o barrilete, correspondendo a um peso menor para a peça e um diâmetro maior para o testemunho. Os barriletes da série X, foram padrões para muitos anos e os termos EX, AX e BX são ainda especificações muito usadas, mas a designação W (*wire-line*) vem se tornando cada vez mais freqüente. O diâmetro do furo *wire-line* é o mesmo que o da designação X, porém o testemunho possui um diâmetro um pouco menor devido ao tubo interno removível. O diâmetro do testemunho BW, por exemplo, é 33,3 mm ao invés do valor 42,1 da sondagem convencional.

- Sondagem rotativa: é normalmente mais rápida e barata que a sondagem diamantada, porém destrói o testemunho. É mais apropriada para exploração de petróleo do que na mineração. Geralmente não se presta à amostragem de minérios de ferro, pois esses na maioria das vezes são valorados não só em função de seus teores como também da granulação.
- Sondagem à percussão: São eventualmente usadas em minerações de ferro no exterior para penetração em terrenos duros e/ou abrasivos. Um dos tipos de sonda a percussão é a venerável *churn drill* amplamente usada em minerações na América do Norte, para água e até para petróleo.

É interessante ressaltar que os furos de sonda mais compridos desviam-se significativamente. Assim o pesquisador deve ter cuidado com furos no minério de ferro cujo comprimento exceda a centena de metros. Nesses casos o seu desvio deve ser medido, dispondo-se de instrumentos ópticos ou baseados nas propriedades do giroscópio que medem esses importantes desvios.



FOTO 2 - Testemunhos de sondagem

4.1.3.3 Mapeamento Geológico de Superfície e de Subsuperfície

O mapeamento geológico, de superfície e de subsuperfície, é essencial em todos os trabalhos de pesquisa mineral e, em particular, para as pesquisas de minério de ferro. A escolha da escala de mapeamento é fundamental para se ter todas as feições geológicas de interesse convenientemente registradas em mapas, com uma adequada densidade de informações. Registros gráficos muito grudados uns dos outros impõem um aspecto feio ao mapa e dificultam a leitura. Por sua vez, informações muito separadas umas das outras nada mais é que desperdício de papel. Uma boa escala de trabalho para a maioria dos depósitos de ferro de Minas Gerais é de 1:1.000. Minérios mais variáveis que o minério de ferro, como os minérios de ouro, costumam ser mapeados em escala maior v.g. 1:250.

À semelhança de outras substâncias minerais, os mapas de jazidas de ferro devem representar as seguintes feições geológicas: litologias presentes, mineralogias, texturas dos minérios, estratigrafia e contactos bem como a natureza desses (se observado, inferido etc.), feições estruturais diversas como dobras, falhas, xistosidades, lineamentos etc.

Na pesquisa de depósitos minerais costuma-se produzir os seguintes mapas:

- Mapa da superfície do terreno;
- Feixe de seções verticais (perfis) equiespaçados e transversais às estruturas (FIG. 2);
- Feixe de seções verticais (perfis) equiespaçados e paralelos às estruturas;
- Cortes elucidativos, onde necessário ou conveniente.

Não é preciso ressaltar que todos os mapas mencionados devem ser consistentes entre si. Modernamente, esse conjunto de mapas é produzido com auxílio de softwares de mineração que faz todo o modelamento sólido e facilita a geração de todos os mapas de interesse.

As litologias registradas nesses mapas, isoladamente ou em conjunto, constituem campos homogêneos a serem investigadas em trabalhos de Geoestatística.

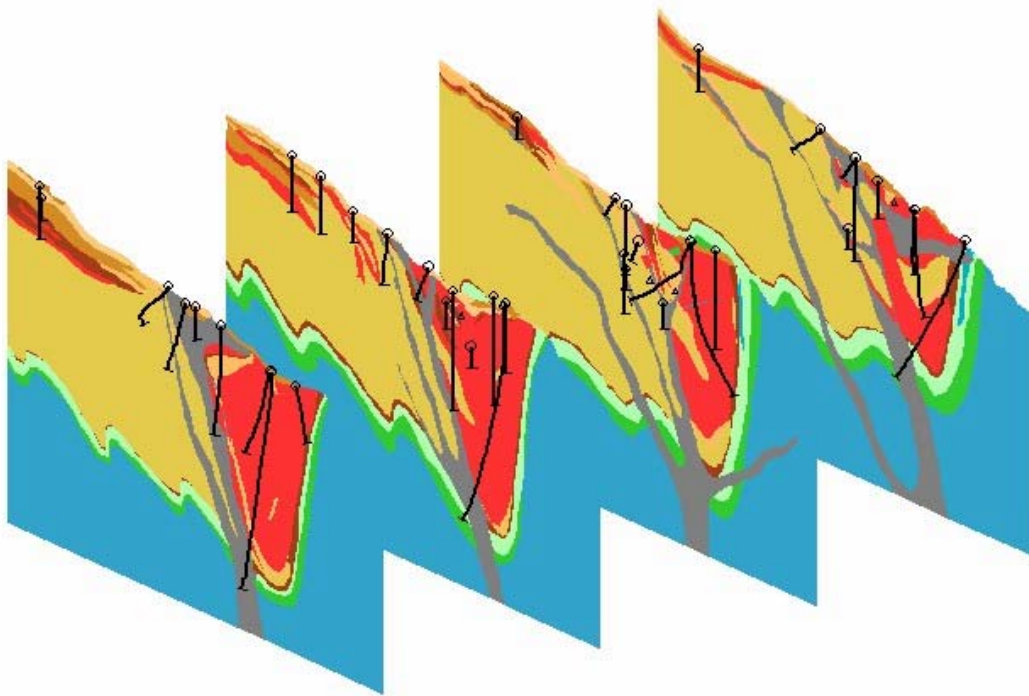


FIGURA 2 – Interpretação e construção de seções verticais

4.1.3.4 Exploração Geofísica

A aplicação de métodos geofísicos na exploração mineral de minérios de ferro é mais usual no exterior do que no Brasil. A geofísica mede propriedades de minerais ou rochas nas formas de corpos geológicos que são interpretados à luz da geologia podendo se tirar interessantes conclusões. Os métodos mais empregados na pesquisa de minério de ferro é o método magnético seguido dos métodos gravimétricos. A título de exemplo, esses métodos foram recentemente usados pela Ferteco para demonstrar: (a) que a jazida de Córrego do Feijão possui uma importante extensão lateral; (b) para decidir entre dois modelos estruturais alternativos, comprovando-se que o minério rico efetivamente segue para maiores profundidades.

4.1.3.5 Amostragem de Minérios: massas específicas e teores

A amostragem de minérios é uma das atividades mais importantes e críticas no modelamento e avaliação de recursos e reservas minerais. A maneira convencional de se amostrar depósitos brasileiros de minério de ferro, nas suas três dimensões, é através de sondagens rotativas a diamante. As recuperações das sondagens nas suas diversas manobras devem estar muito próximas de 100%, pois valores inferiores podem indicar erros de amostragens de natureza sistemática (os piores) e acidentais. Caso as recuperações nas manobras sejam muito baixas (v.g. inferiores a 90%, dependendo do caso) é melhor descartar as respectivas amostras.

Obtidos os testemunhos da sondagem, os mesmos são guardados em caixas dotadas de canaletas e o geólogo da mina separa as diferentes litologias e descreve os diversos intervalos separados em tamanhos geralmente variáveis entre 3 a 5 metros, dependendo do caso. Em seqüência, cada intervalo é repartido transversalmente em duas metades idênticas, com a ajuda de uma serra diamantada (de preferência), com uma cunha acionada hidráulicamente ou ainda com ajuda de uma espátula manual, no caso da rocha ser macia ou decomposta. Guarda-se metade da amostra para futuras referências na própria caixa dos testemunhos e a outra metade segue para a preparação de amostra visando análises químicas e físicas, ensaios de beneficiamento etc.

A amostra de trabalho é submetida a um cuidadoso esquema de preparação previamente estabelecido, porém variável de mina a mina, geralmente contando de partida com uma britagem abaixo de 1,24" (31 mm), seguido de peneiramento a úmido nas malhas 1/4" (6,3 mm) e 100 *mesh* (0,15 mm), promovendo o desdobramento do minério nas suas frações:

- Lump ore: > 6,3 mm
- Sinter feed: entre 6,3 mm e 0,15 mm
- Pellet feed fines (mais lamas): < 0,15 mm

O erro de amostragem de um material a granel como o minério de ferro, quando devidamente homogeneizado, é dado pela famosa fórmula de Gy (1982):

$$\sigma_{FE}^2 = \frac{1}{M_S} \cdot C \cdot d^3, \quad \text{onde:}$$

- d é o diâmetro (nominal) da maior partícula;
- C é a constante da amostragem (determinada de várias maneiras)
- M_S é a massa mínima da amostra
- σ_{FE}^2 é a denominada variância do erro fundamental

Registram-se todas as massas destas partições e submetem-se as diversas frações e amostra de cabeça às análises químicas. Somando-se as massas das frações com a cabeça (sempre na base seca) não deve haver diferenças superiores a cerca de 2%. Comparando-se os teores das frações com a cabeça não deve haver diferenças superiores a cerca de 5%. Tomando-se todos esses cuidados evita-se erros demasiadamente grandes que podem comprometer os projetos e planos mineiros.

- Análises Químicas

Normalmente, as minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero analisam as seguintes entidades: Fe, P, Al₂O₃, SiO₂, Mn, PPC (perda por calcinação) e, eventualmente, TiO₂, CaO e MgO. As análises químicas são geralmente feitas nas minas brasileiras por fluorescência de raios-X, por plasma (ICP – *induced coupled plasma*) ou por gravimetria (PPC). Colocando-se todos esses elementos sob a forma de seus óxidos mais comuns, costuma-se fechar a estequiometria entre 99% e 101% e as amostras externas a essa faixa são descartadas ou reanalisadas.

Os laboratórios das grandes minas brasileiras de ferro efetivamente são muito bem aparelhados, seus operadores são muito bem preparados e as análises são rigorosamente controladas sob quanto as suas características de repetitividade (consistência laboratorial interna, ou precisão) e reproduzibilidade (consistência laboratorial externa ou acurácia). A excelência da qualidade destes laboratório é atestada por diversos estudos interlaboratoriais com participação dos melhores laboratórios das mais importantes minerações e institutos de pesquisa do mundo. Todas as grandes empresas de mineração no Brasil têm, para seus laboratórios analíticos, sistemas de controle de qualidade e garantia de qualidade.

- Análises Físicas e Ensaio de Concentração

Analogamente às análises químicas, são levadas a cabo com o mesmo nível de rigor análises físicas e ensaios de concentração. Os testes mais comumente executados são análises granulométricas, testes padrão de flotação, espessamento, medidas de índice de trabalho (*work index*) de Bond etc.

- Amostras para a Determinação de Densidades (Massas Específicas)

As tonelagens de cada litologia são avaliadas a partir dos volumes dos corpos de minério multiplicados pelas respectivas densidades absolutas ou massas específicas. A densidade tem características de variáveis regionalizadas, podendo muitas vezes coloca-la em função dos respectivos teores e granulometria como implementado por [Horta](#) (1981) para a mina de Águas Claras. Na maioria das vezes contudo, assume-se a densidade constante para cada litologia e avalia-se a mesma a partir de cerca de 30 amostras especialmente coletadas para esse propósito. As densidades são determinadas por técnicas de Mecânica das Rochas ou Solos normatizadas em instituições nacionais ou internacionais ou ainda experimentos especialmente desenvolvidos para esse propósito. Para propósitos de avaliação de reservas as densidades devem ser sempre referidas na base seca pois a quantidade de água não deve ser considerada nesse assunto.

- Bulk Sampling

No estabelecimento de empreendimentos minerais de grande responsabilidade é sempre necessário correr uma série de ensaios de processamento mineral envolvendo grandes quantidades de minério em plantas piloto ou em escala semi-industrial. A obtenção da amostra de grande volume representativa dos diversos tipos de minério é um problema à parte envolvendo várias disciplinas entre as mesmas: Geologia de Mina, Metalurgia, Matemáticas Aplicadas, Teoria da Amostragem etc. Se a amostragem não for bem feita os estudos realizados sobre amostras duvidosas podem inclusive induzir a tomadas de decisões erradas com enormes prejuízos. Foge do escopo desse trabalho detalhar esse problema,

4.1.3.6 Avaliação de Recursos / Reservas

A Pesquisa Mineral costuma culminar com a avaliação ou estimativa de recursos e reservas minerais. A grosso modo, entende-se por recursos ou inventário mineral a relação das tonelagens e teores associados aos blocos mineralizados, existentes *in situ*, pois nem toda massa mineralizada é aproveitável técnica e economicamente.

A partir da década de 60 começou a imperar o modelamento discreto para os depósitos minerais. À semelhança de outros depósitos, os depósitos de ferro foram subdivididos em blocos de planejamento (ou blocos tecnológicos) e cada um dos mesmos, avaliados da seguinte maneira:

- Teores avaliados: Fe, P, Al_2O_3 , SiO_2 , Mn, PPC e, eventualmente, TiO_2 , CaO e MgO;
- Rendimento ponderal nas faixas de minério grosseiro (LO), alimentação para sinterização (SF) e finos para pelotas (PFF);
- Teores (como os acima mencionados) nas diversas partilhas.

O homem com o passar do tempo, aprendeu a fazer (e ainda continua aprendendo fazer) máquinas, equipamentos, e modelos, cada vez mais precisos. A Geoestatística, engendrada e desenvolvida por [Matheron](#) (1962) na década de 60, veio para cumprir os desideratos de acurácia e precisão no domínio das jazidas minerais e objetos similares. Assim, hodiernamente a prática totalidade dos depósitos minerais vem sendo avaliados por métodos geoestatísticos. Foge do escopo dessas notas a tratativa desse importantíssimo assunto em maior grau de detalhe, remetendo o leitor à bibliografia pertinente ([MATHERON](#), 1971, [JOURNEL e HUIJBREGTS](#), 1978 e [RENDU](#), 1979, *inter alia*).

Em função do grau de certeza dessas avaliações, os profissionais que cuidam da quantificação dos recursos minerais, subdividiram os mesmos conforme o grau de certeza de seu conhecimento em recursos medidos (os mais precisos), os indicados e os inferidos (quase que conjecturais). Trabalhos ulteriores de engenharia mostram como partes desses

recursos se transformam em reservas provadas (as mais precisas) e prováveis (conhecidas com grau de precisão pouco menor).

Os projetos de engenharia devem centrar foco apenas nas reservas minerais provadas e prováveis esquecendo os recursos inferidos que são incertos. A geoestatística contribuiu e vem contribuindo para maximizar a geração de riquezas e diminuir os riscos da mineração.

4.1.4 Comentários Finais

A natureza provê ao homem dois tipos de recursos: os renováveis e os não-renováveis. Os recursos renováveis reportam-se à vegetação, à fauna, às águas etc. passíveis de serem recuperados caso sejam retiradas tempestivamente as causas do impacto. Os recursos não-renováveis são os minérios que representam a nossa herança geológica e são inexoravelmente gastos pelo uso. Temos que ter máximo cuidado para maximizar a extração do minério, gerando riquezas, minimizando a turbação ambiental e cuidando para o não-disperdício pois poderá faltar para as gerações vindouras.

O bom aproveitamento de todo e qualquer depósito mineral passa por uma pesquisa mineral de boa qualidade. Pesquisa mineral de baixa qualidade leva inexoravelmente a enormes perdas e até ao fracasso total do empreendedor mineiro.

Todos os grandes depósitos minerais do Quadrilátero Ferrífero e da APA Sul RMBH tiveram suas pesquisas várias vezes auditadas pelas mais competentes auditoras internacionais que comprovaram o alto grau de competência dos profissionais envolvidos nos trabalhos.

4.2 Mineração

Lavra ou mineração pode ser entendida (BEALL, 1973) como o ato, o processo ou o trabalho de se extrair minérios ou minerais industriais de seu ambiente natural e transportá-lo até o ponto de seu tratamento ou uso. O Código de Mineração (Decreto Lei nº 227, de 28/02/67) define lavra como “o conjunto de operações coordenadas, objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas”.

Maia (1969) critica a redação do texto legal: a lavra inclui o beneficiamento? Certamente não! É interessante notar que o Código de Minas antigo (Decreto Lei nº 1985 de 29/01/80) sequer definia o termo lavra!

A jazida em lavra se constitui numa mina. Assim, mina nada mais é do que uma escavação feita na crosta terrestre, com o propósito de extrair minerais. Estas escavações podem ser feitas na superfície e/ou no subsolo, daí os dois grandes sistemas de lavra descritos na literatura técnica pertinente: lavra a céu aberto e lavra subterrânea.

Dentro de certa óptica, a mineração absorve energia do homem e das máquinas. Assim, para obter o benefício desejado a mina deve criar algo de mais valor do que a energia despendida. Essa é a razão do porque as minas costumam se aprofundar até um certo ponto da crosta terrestre e não ir além, pois a extração de minerais de locais muito profundos não compensa o dispêndio de energia incorrido.

Quão profunda deve ir a mina? Pela lógica, deve ir até a profundidade onde o custo de energia despendida se aproxima mas jamais exceda o valor do mineral extraído.

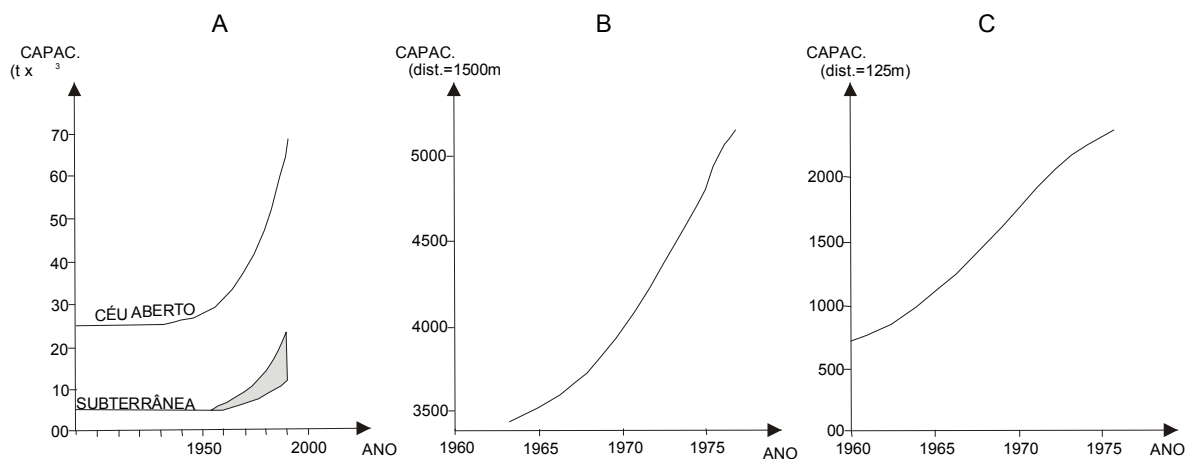
Apesar das inúmeras críticas, injustas a maioria delas, diga-se de passagem, deve-se ressaltar que os métodos produtivos vão se tornando cada vez mais eficientes. Os custos unitários de produção vêm decrescendo com a melhoria da tecnologia, o que vem possibilitando o aproveitamento de minerais cada vez mais impuros e complexos em operações cada vez mais profundas. Em virtude de métodos muito eficientes, a África do Sul (mina de ouro do Witwatersrand), já ultrapassou a profundidade de 3.500 metros e formula hoje novos planos para atingir 4.500 metros de profundidade! Por seu turno, mina de carvão

a céu aberto nos Estados Unidos, chegou a trabalhar com a relação de capeamento (cobertura/carvão) de 30:1.

A título de ilustração, as FIG. 3a, 3b e 3c mostram com muita clareza o ganho de produtividade com sistemas cada vez mais eficientes, no curso dos tempos.

A seleção do método de lavra era e ainda é feito com base na estrutura, geometria, tipo de rochas integrante da jazida, entre outros fatores, objetivando sempre a obtenção do lucro.

Ultimamente vem crescendo a importância de outros fatores tais como a conservação dos bens minerais jacentes (isto é, o aproveitamento máximo dos recursos minerais, não renováveis) a conservação ambiental (representa os cuidados com o meio físico, biológico e antrópico) e a higiene e segurança dos trabalhos.



- A - produtividade com aumento na eficiência dos sistemas ($t \times 10^3/\text{homem/ano}$)
 B - capacidade de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto.
 C - capacidade de carregamento e transporte em uma mina subterrânea.

FIGURA 3 – Ganhos de produtividade com aumento na eficiência dos sistemas

Morrison e Russell (1973) reportam-se aos seguintes fatores para selecionar o método de mineração:

- As características espaciais do depósito (tamanho, forma, atitude e profundidade);
- As propriedades físicas (ou mecânicas) das rochas da jazida e circundantes;
- Águas subterrâneas e de superfície;
- Fatores de ordem econômica, predominando teor do minério, investimentos e custos de operação, taxa de produção desejada.
- Fatores ambientais, tais como preservação da superfície do terreno sobre o depósito, cuidando para não poluir a atmosfera e o meio hídrico etc.

Dentre estes fatores, as características espaciais do depósito mineral e as propriedades mecânicas (físicas) das rochas que compõem o corpo de minério e suas encaixantes limitam os métodos a serem empregados.

Os engenheiros de minas costumam distinguir seis tipos de depósitos minerais / corpos de minérios como mais importantes:

- Maciços*: corresponde a um depósito de considerável extensão lateral e vertical e cuja mineralização (minério) costuma ser uniformemente distribuída;
- Camada ou tabular*: depósito mineral paralelo à estratificação, geralmente em rochas sedimentares, extensos lateralmente e de espessura limitada. Alguns depósitos dessa natureza são os carvões, evaporitos, fosforitos, as bauxitas amazônicas (depósitos tipo blanket) etc.

- c) *Veios delgados: correspondem a zonas ou faixas mineralizadas tipicamente extensas, delgadas (abaixo de 3m) e geralmente com alto mergulho. Muitas vezes o contato de minérios com as encaixantes é brusco, outras vezes gradacional. Grande proporção de depósitos de ouro e minerais metálicos constitui-se em veios delgados.*
- d) *Veios espessos: semelhantes aos veios delgados, contínuos com espessura mineralizada superior a 3 metros.*
- e) *Lentes e bolsões: correspondem a corpos de minérios isolados que se fazem presentes sob a forma de lentes de várias dimensões ou concentrações localizadas de minerais. Tais corpos podem estar dobrados ou retorcidos. São formas mineralizadas que predominam em depósitos de ferro, chumbo, zinco e, eventualmente, em depósitos de cobre e sulfetos polimetálicos etc.*
- f) *Placer: depósito mineral na superfície ou próximo da mesma, usualmente tabular e por vezes com expressão razoável, proveniente de erosão de outros minerais, podendo conter partículas de minerais preciosos (ouro, platina, diamante) e minerais resistentes - resistatos - diversos v.g. cassiterita, rutilo, monazita, granada, etc.*

A lavra a céu aberto nada mais é do que uma escavação ampla da superfície do terreno com o propósito de extrair minerais metálicos e não metálicos, em qualquer tipo de rocha. As lavras a céu aberto podem ser desde pequenas raspagens manuais na superfície do terreno até gigantescas escavações que alcançam centenas de metros em profundidade, podendo ocupar dezenas ou eventualmente até centenas de quilômetros quadrados em superfície.

Morrison e Russel (op. cit.) destacaram três tipos básicos de lavra a céu aberto, nomeadamente: lavra aluvionar (*placer mining*), *open pit* e *glory hole*, ou ainda a combinação destes esquemas.

Dentro de lavra a céu aberto (*open pit* s.s.) alguns autores distinguem a lavra em meia encosta (*side-hill mining*) e a lavra em cava fechada (usa-se este termo, inobstante o pleonasma).

A lavra a céu aberto possibilita ampla flexibilidade na produção a qual inclui a habilidade de se lavrar seletivamente e o potencial de se extrair 100% do minério existente dentro do corte a céu aberto. A lavra em superfície pode ser feita com uma pequena força de trabalho quando se parte para equipamentos de grande porte. A opção por equipamento de maior tamanho geralmente implica em custos (de investimentos e operacionais) mais baixos, porém menor seletividade na lavra.

A mineração a céu aberto é considerada mais segura que a sua contrapartida subterrânea. No entanto, apresenta as seguintes adversidades: turbação da superfície do terreno, emissão de poeiras, ruídos diversos e vibrações decorrentes das detonações e necessidade de se dispor de grandes massas de estéril.

No caso das mineralizações se apresentarem em domínios profundos, torna-se antieconômico, remover os estéreis de cobertura e das laterais da jazida para se acessar o minério. Uma vez que a lavra a céu aberto se torna inviável, só resta a alternativa de se explorar o depósito mineral subterraneamente. Neste contexto, a estabilidade das estruturas subterrâneas, onde trafegam homens e máquinas e nos alargamentos (realces) onde ocorre a produção é simplesmente vital. Outra preocupação de engenharia, típica da lavra subterrânea, reporta-se à ventilação. Há que se cuidar para que os trabalhadores trabalhem sempre sob boas condições de aeração.

No tocante a exploração de subsolo, Maia (1969) reporta-se aos denominados “princípios fundamentais da lavra subterrânea” que refletem a questão mais importante desta atividade – a sustentação e o controle das deformações nos alargamentos realizados. São eles:

- abandono de pilares;
- enchimento
- abatimento controlado do teto.

O princípio do abandono de pilares consiste em deixar-se parte do corpo de minério *in situ* (sem desmontar), com a finalidade de prover a sustentação de alargamento. Os pilares constituem, assim, a parcela não recuperável da reserva total.

Nos alargamentos realizados com enchimento, todo o minério é desmontado, mas na medida de sua extração, o vazio criado vai sendo preenchido por material estéril, o que assegura sustentação permanente das rochas encaixantes.

O princípio do abatimento consiste em permitir (ou mesmo induzir) a deformação e ruptura do maciço rochoso (minério e/ou encaixantes) de forma mais ou menos controlada. Dissipa-se assim, com a realização do trabalho (ruptura), parte da energia armazenada no maciço, o que resulta no alívio das tensões junto às frentes de lavra, favorecendo a segurança dos trabalhos. Além disto, o material estéril (encaixante) desabado gradualmente preenche os vazios criados e passa a fazer a sustentação dos mesmos. A aplicação desse princípio acarreta naturalmente, a subsidência dos terrenos superficiais.

Os três princípios fundamentais retro mencionados podem ser aplicados quer de forma isolada quer de forma combinada, resultando na base de classificação dos sistemas de lavra, apresentados por [Girodo](#) (1992) da seguinte forma:

- I- Alargamentos auto-suportantes (ou com suportes naturais)
 - a. câmaras e pilares
 - b. Lavra por subníveis
 - c. Lavra por recalque
 - d. Alargamentos esteiados
- II- Alargamentos suportados (ou com suportes artificiais)
 - a. Corte e enchimento
 - b. Lavra com estruturas retangulares (square sets)
 - c. Longwall
 - d. Abatimento por tiras
- III- Alargamentos abatidos
 - a. Abatimento por subníveis
 - b. Abatimento em blocos

Por alargamentos auto-suportantes entendem-se àqueles nos quais não há a aplicação regular de nenhuma estrutura artificial de suporte. As cargas devidas sobretudo ao peso das rochas sobrejacentes são absorvidas, predominantemente, por suportes naturais (do próprio maciço) isto é, a rocha não escavada (minério ou estéril), seja nos limites do corpo de minério ou pilares no interior dos alargamentos. Na prática, não se excluem desta categoria, os casos em que suportes artificiais são empregados em pequena escala, sem afetar expressivamente a carga que é transmitida à rocha *in situ*.

Os alargamentos suportados são aqueles em que se emprega um sistema de estruturas artificiais de suporte para absorver uma parcela significativa de carga resultante do peso das rochas sobrejacentes. As estruturas de suporte usadas, de uma maneira geral, em minas subterrâneas são esteios (rígidos ou deformáveis, de madeira ou metálicos, estes últimos, quando deformáveis de atrito ou hidráulicos), pilhas (baterias de esteios, fogueiras, pilares artificiais e suportes hidráulicos automarchantes), quadros (de madeira, concreto ou

metálicos), arcos (de concreto ou metálicos, rígidos, articulados ou deslizantes), as ancoragens (parafusos de rocha) e, por fim, o enchimento (manual, com materiais de diversas naturezas, pneumático ou hidráulico).

Os alargamentos abatidos, conforme indica tal designação, são aqueles nos quais devido a certas condições, concernentes à forma e à posição espacial do corpo de minério e as características geomecânicas do maciço, é possível a aplicação do terceiro princípio de lavra subterrânea.

Segundo [Girodo \(1992\)](#), os principais fatores condicionantes de escolha de um método de lavra subterrânea são:

- a) Forma, dimensões e posição espacial do depósito (tipo de jazimento, extração, potência, mergulho e profundidade);
- b) Valor do produto e variabilidade dos teores no depósito (recuperação, diluição e seletividade na lavra);
- c) Características de resistência e deformabilidade do minério e rochas encaixantes (capacidade de auto-suporte, estrutura artificiais);
- d) Segurança e conforto no trabalho;
- e) Fatores econômicos (investimento inicial, custo de produção, escalas de produção, receitas, fluxo de caixa, condições de mercado).

Foge do escopo destas notas descrever, mesmo que de forma sumária, os principais métodos de lavra, remetendo o leitor a textos técnicos de mineração, caso queira se aprofundar no assunto ([CUMMINS e GIVEN, 1973](#), [HUSTRULID, 1982](#), [HUSTRULID e KUCHTA, 1995](#), *inter alia*).

Apresentam-se, em seqüência, as [FIG. 4 a 14](#) que mostram uma série de situações típicas de lavra a céu aberto e subterrânea, acompanhadas de rápidos comentários de alguns destes esboços.

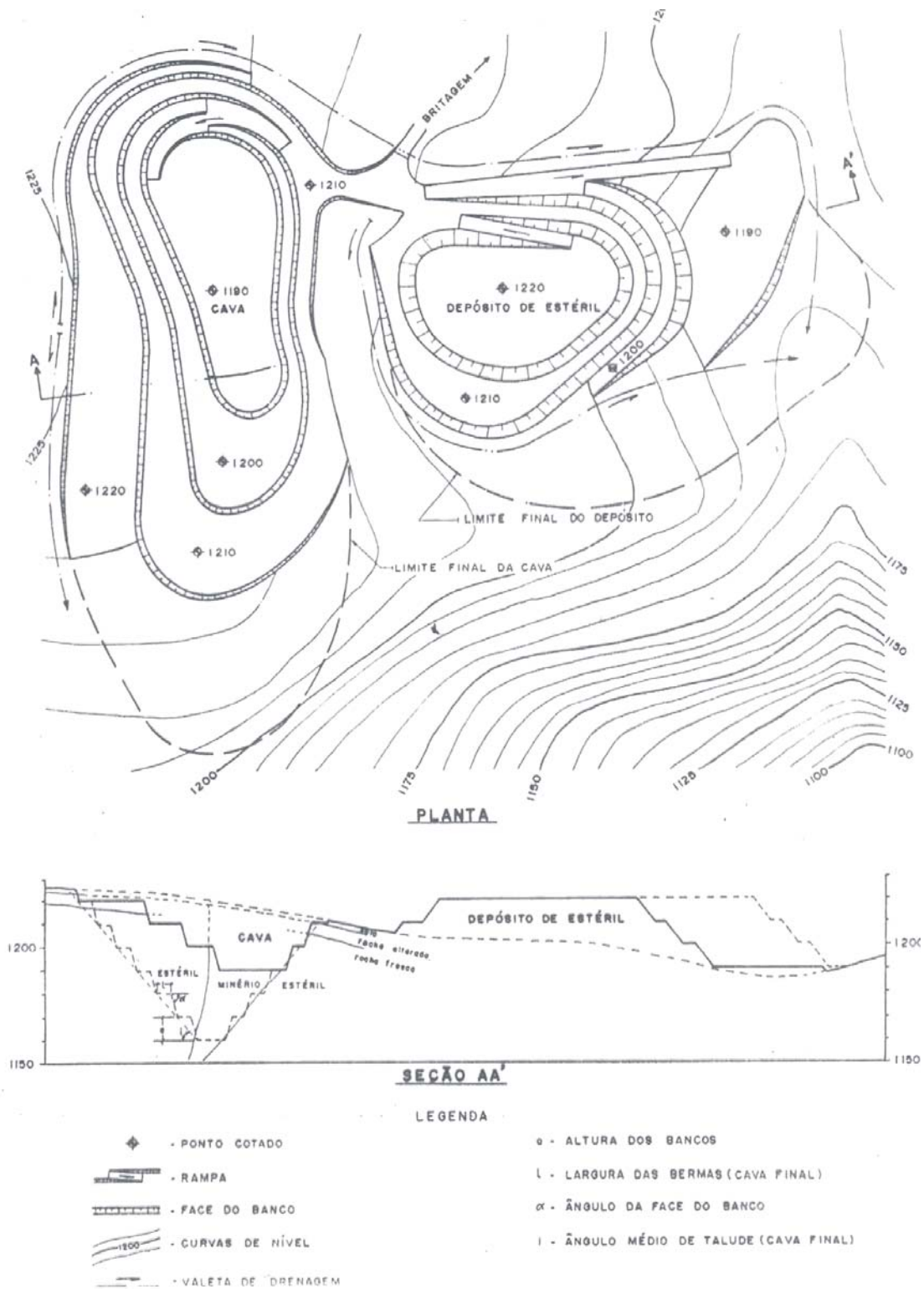


FIGURA 4 – Lavra em bancada; cava fechada.

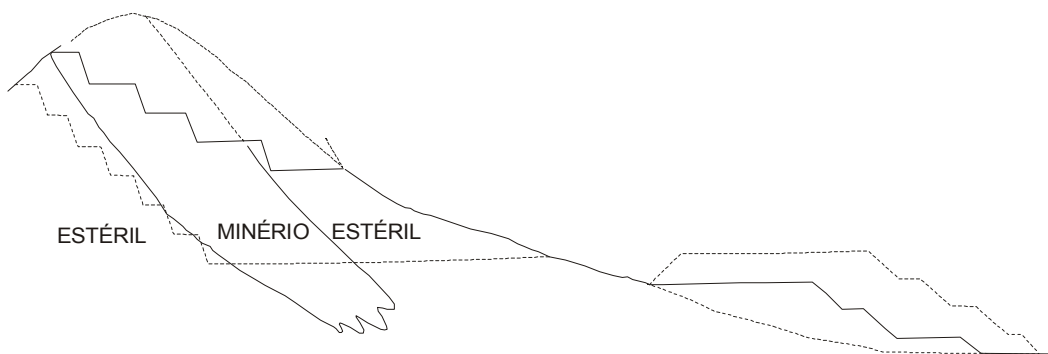


FIGURA 5 – Lavra em bancadas a meia encosta.

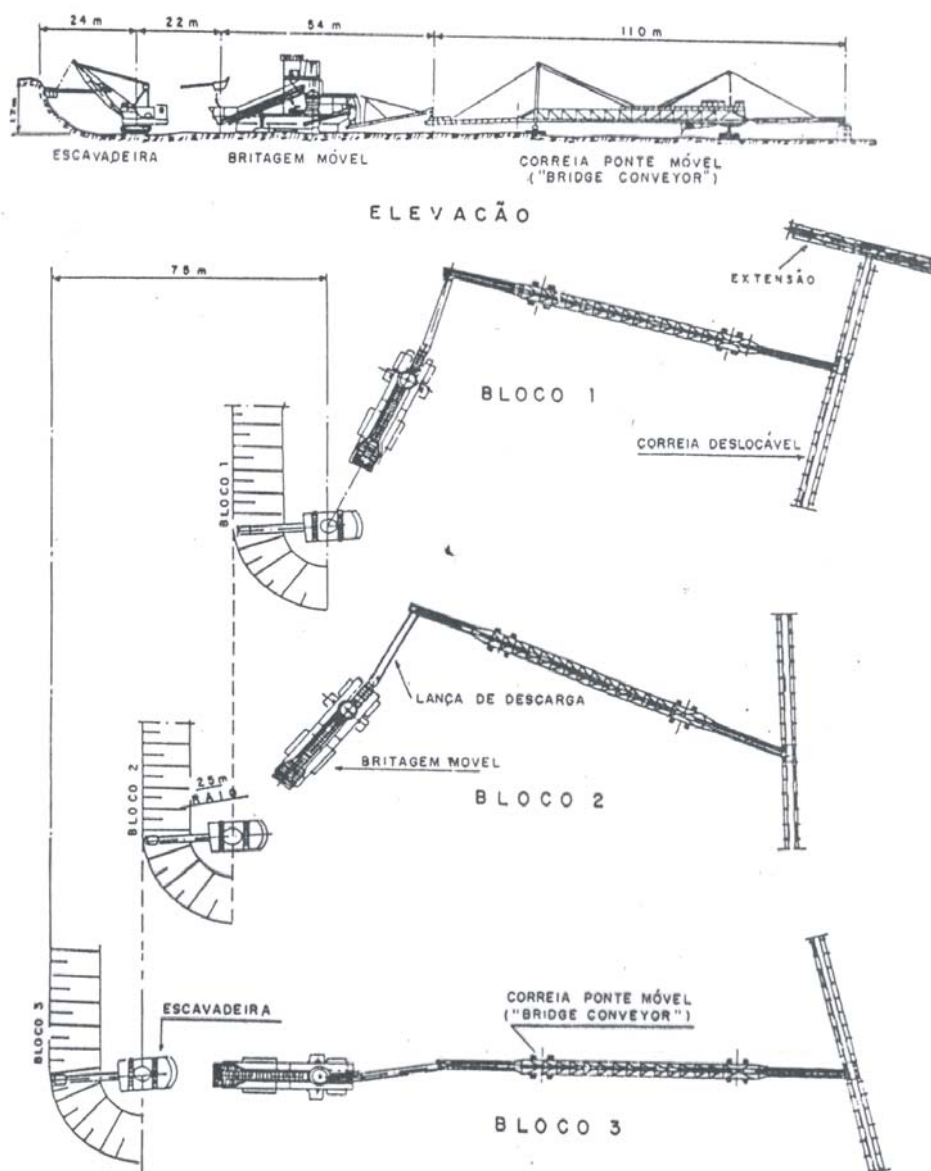
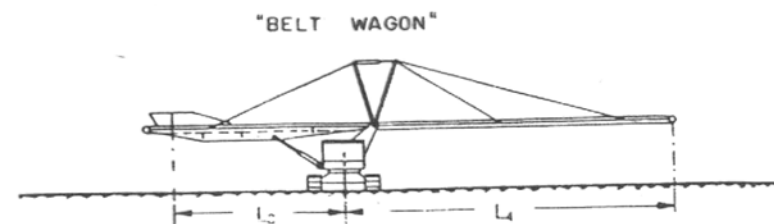
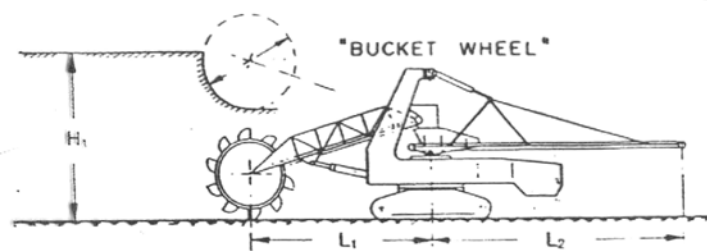
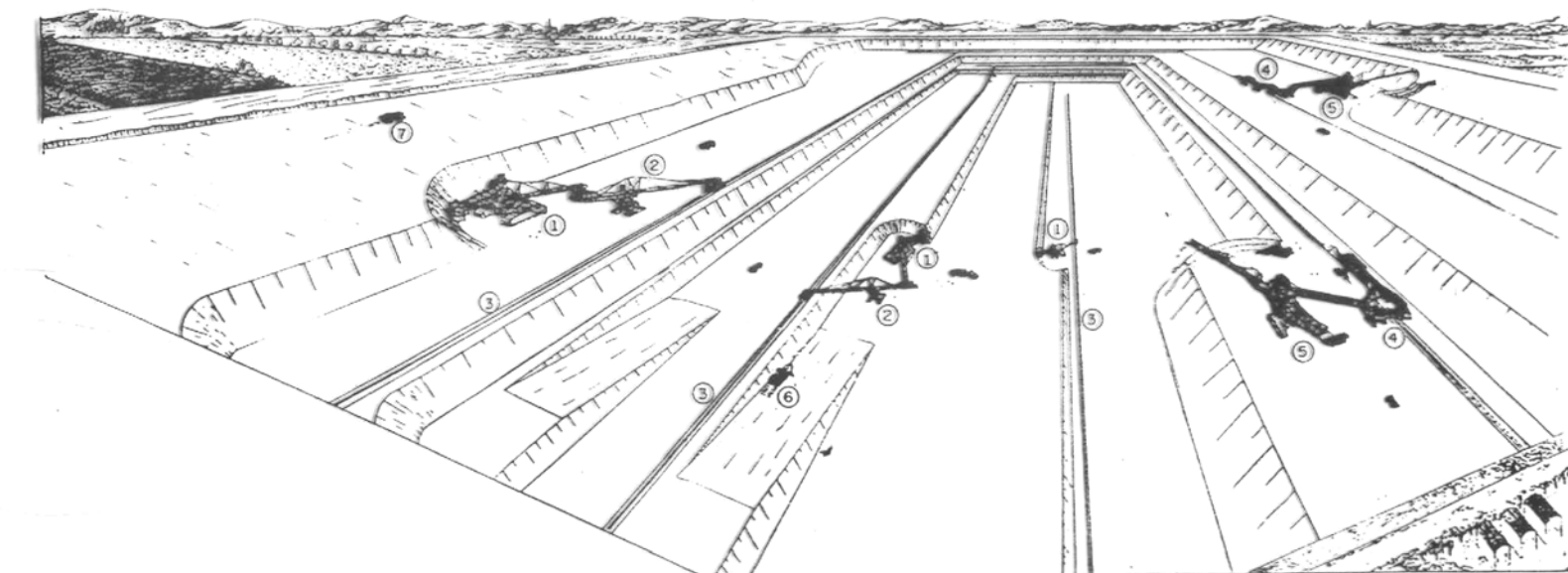


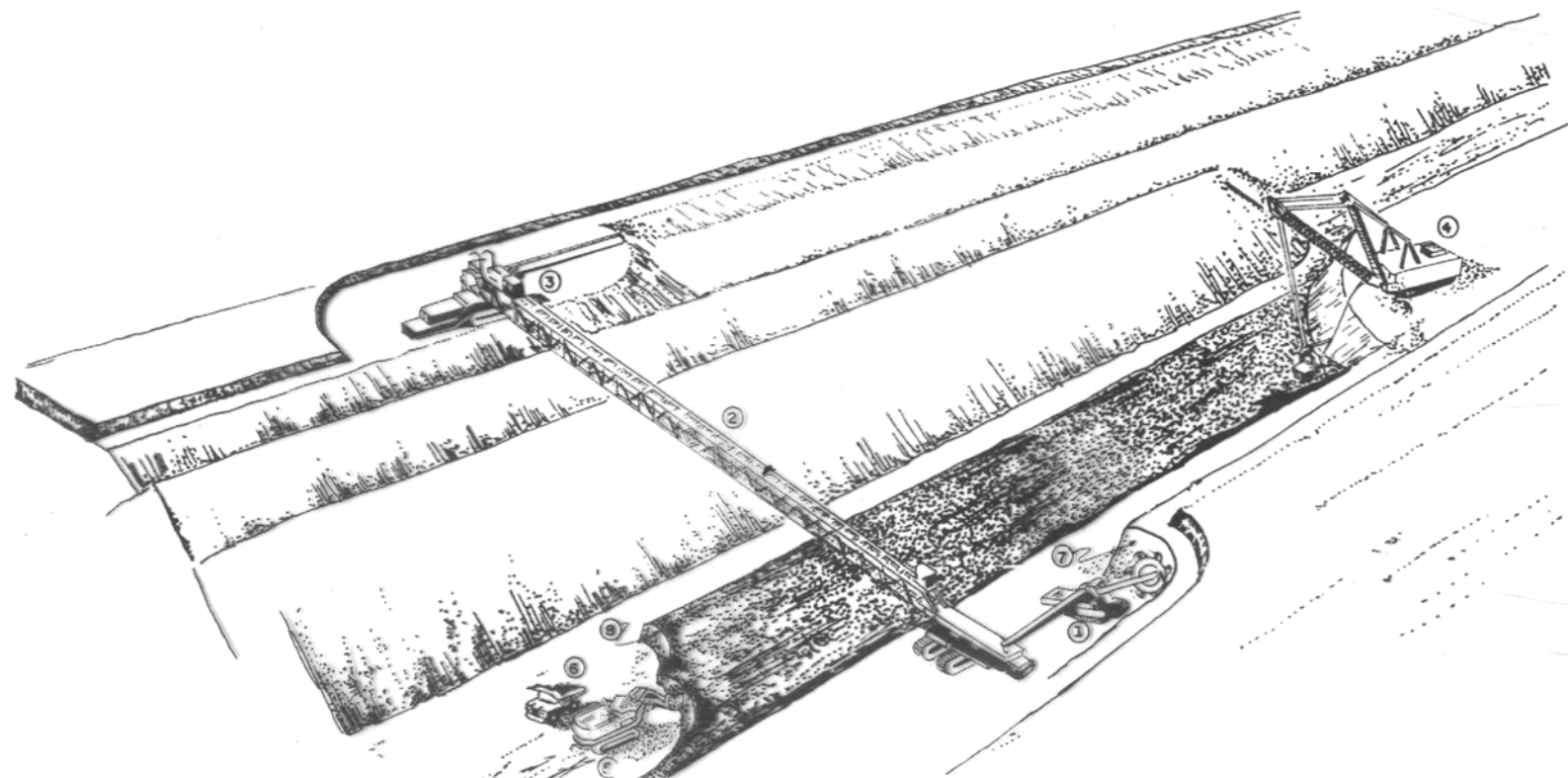
FIGURA 6 – Britagem móvel dentro da cava (*in pit crushin and conveying*) e transporte por correias. Sistema que visa a economia de energia.



LEGENDA

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| ① "BUCKET WHEEL" | ⑤ EMPILHadeira ("SPREADER") |
| ② "BELT WAGON" | ⑥ TRATOR DE ESTEIRAS |
| ③ CORREIA TRANSPORTADORA | ⑦ CAMINHÃO FORA DE ESTRADA |
| ④ "TRIPPER" | |

FIGURA 7 – Lavra em tiras ("strip mining").



LEGENDA

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| ① - "BUCKET WHEEL" | ⑤ - ESCAVADEIRA FRONTAL |
| ② - "BRIDGE CONVEYOR" | ⑥ - CAMINHÃO FORA-DE-ESTRADA |
| ③ - EMPILHADEIRA | ⑦ - ESTÉIL |
| ④ - "DRAGLINE" | ⑧ - CAMADA DE CARVÃO |

FIGURA 8 – Lavra em tiras ("strip mining").

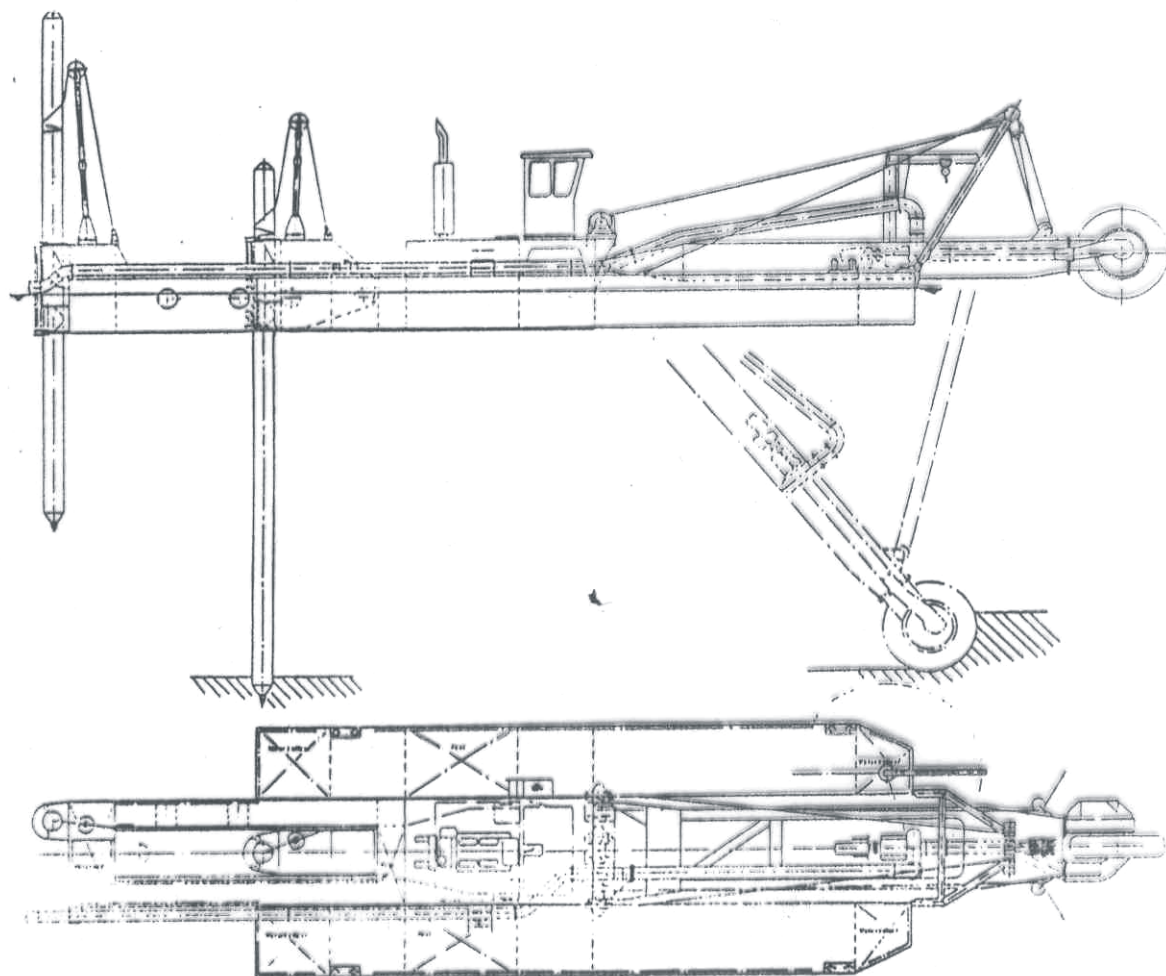


FIGURA 9 – Draga de roda de caçamba.

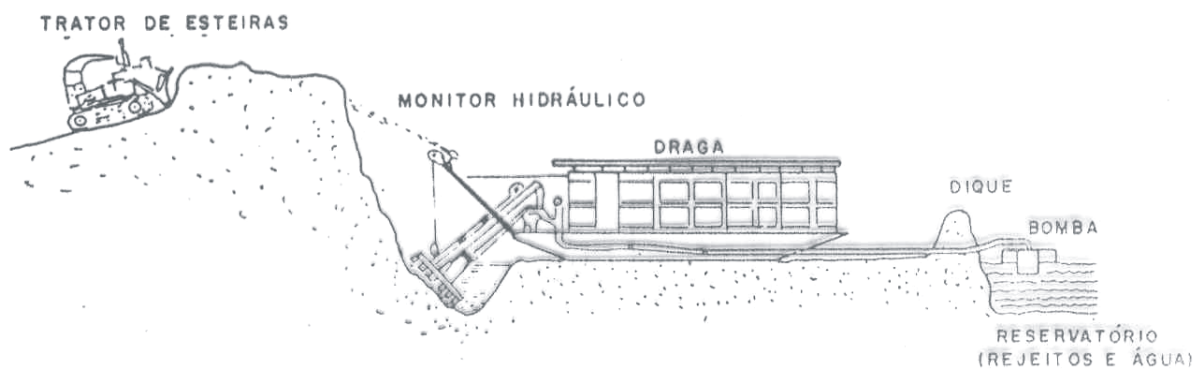


FIGURA 10 – Draga sobre "skid".

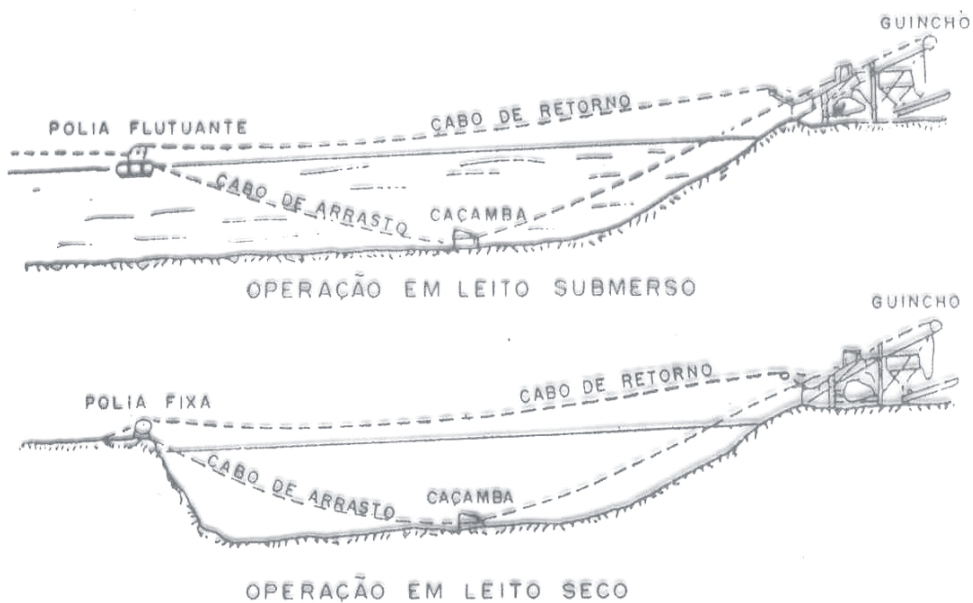


FIGURA 11 – Caçamba de arrasto.

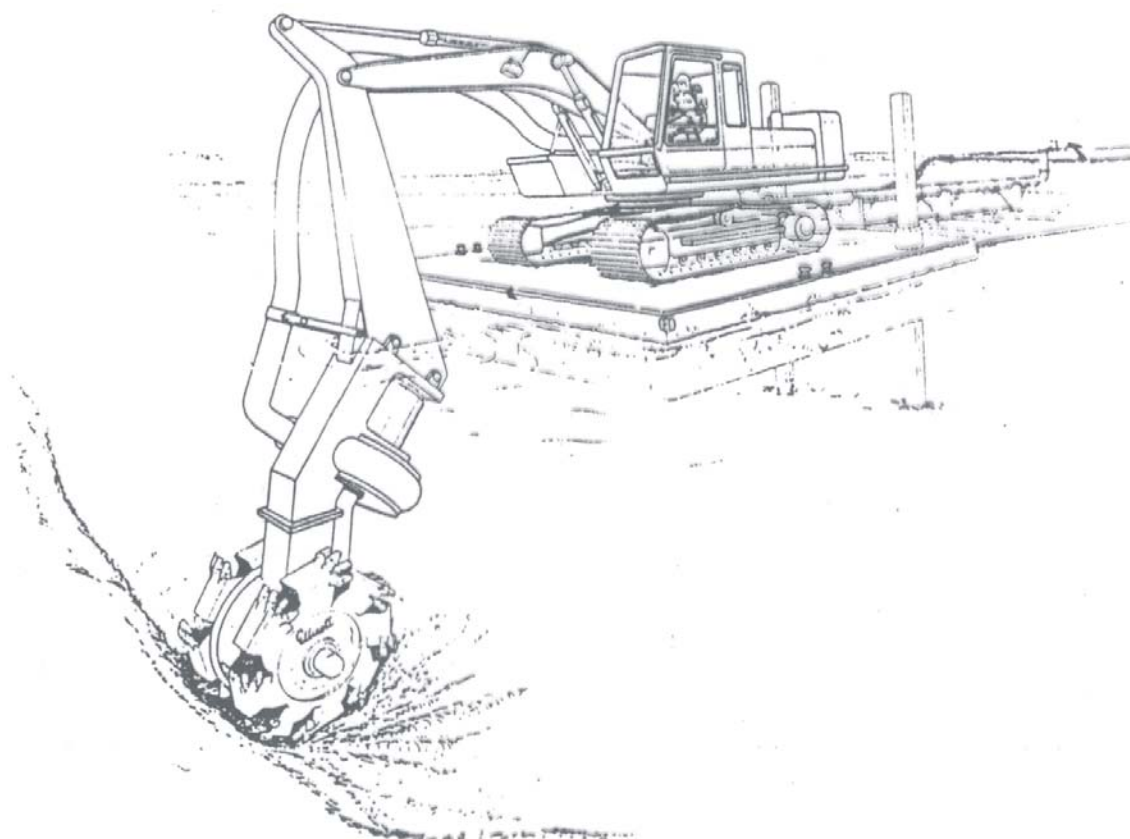


FIGURA 12 – Retroscavadeira com roda de caçambas.

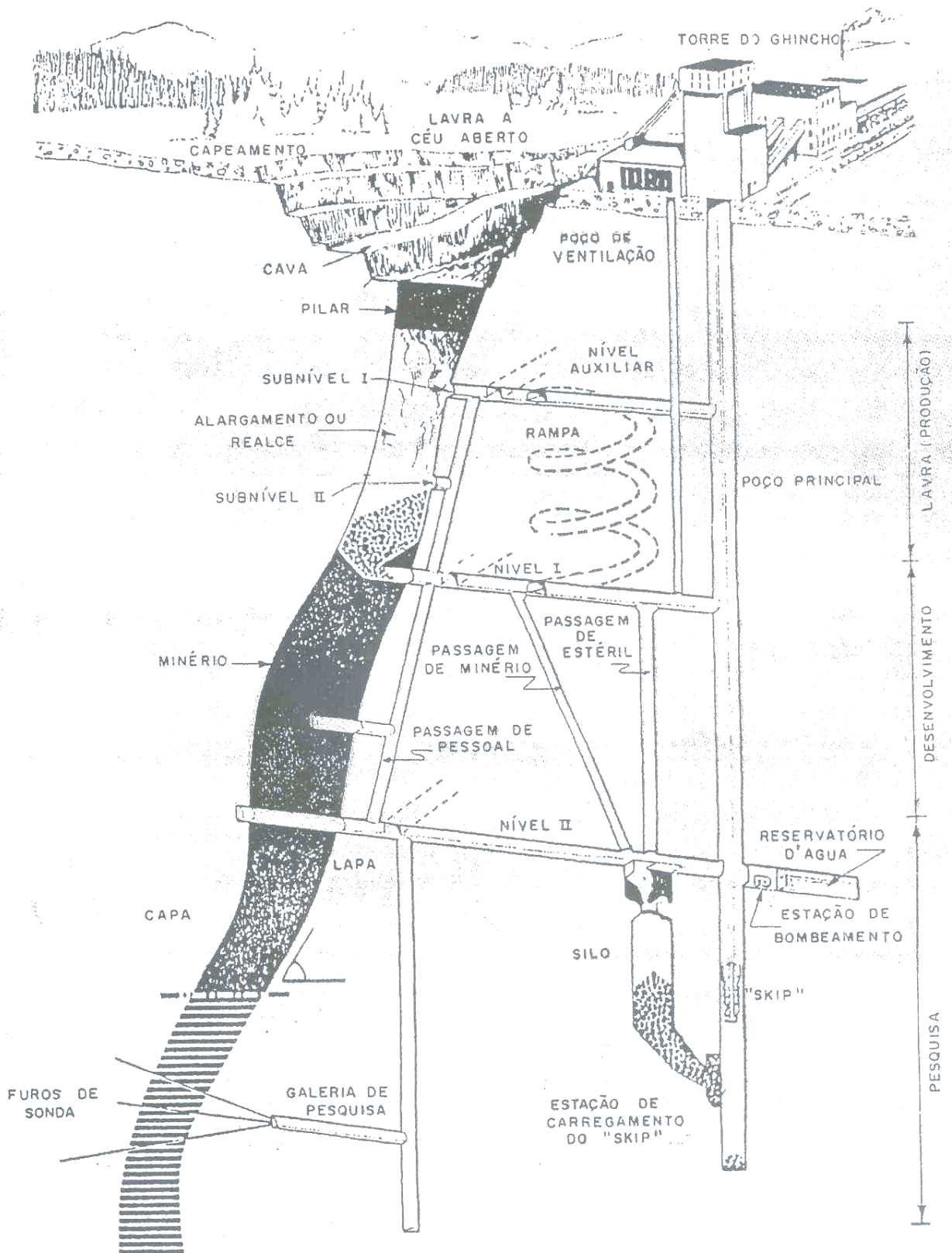


FIGURA 13 – Arranjo geral esquemático. Mina subterrânea.

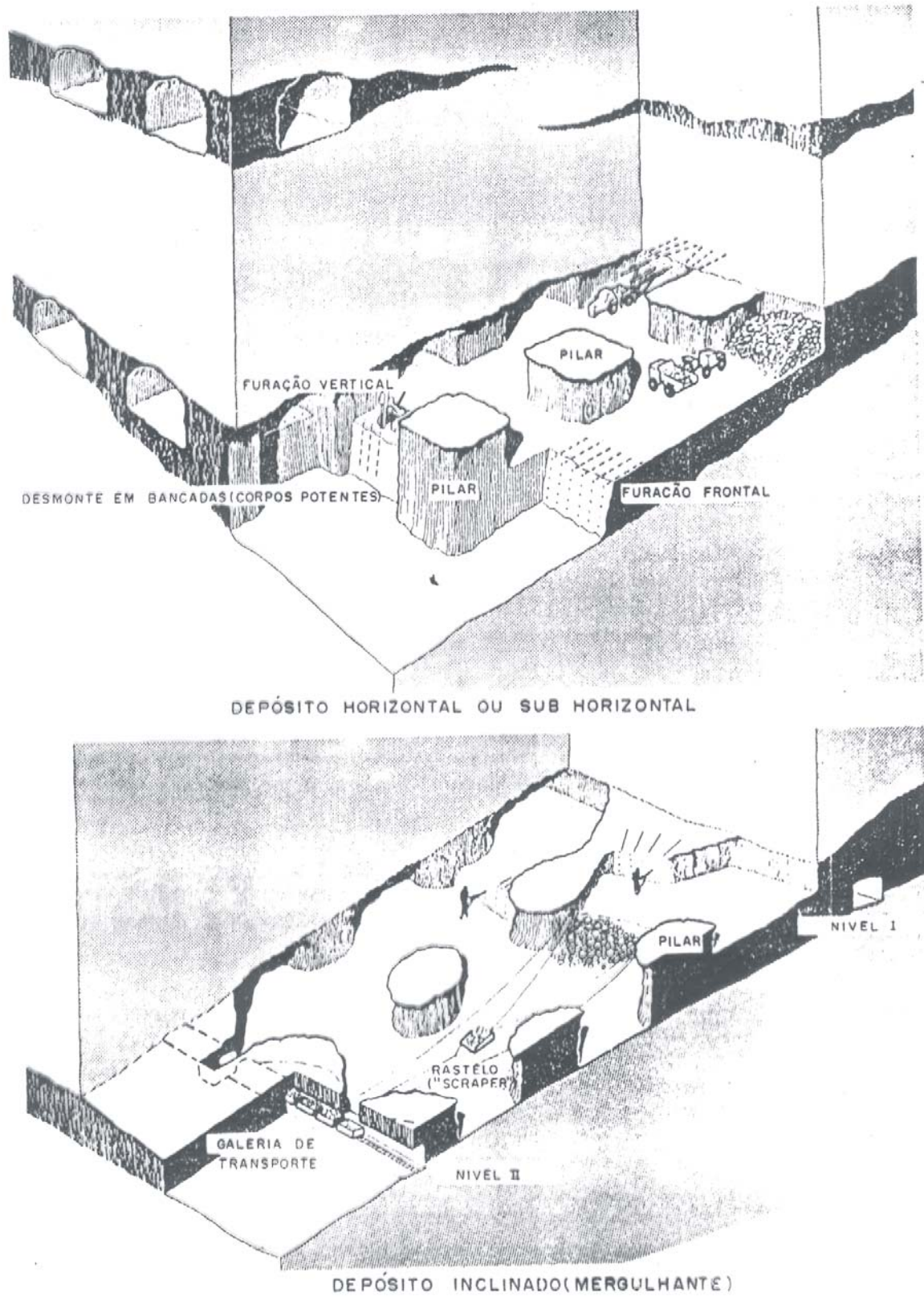


FIGURA 14 – Câmara e pilares.

As FIG. 15 e 16 mostram dois esquemas de lavra por subníveis, o primeiro deles com o desmonte apoiado em furos longos paralelos e o segundo em furos em leque. Na primeira destas versões, o carregamento e o transporte é apoiado por equipamentos sobre pneus (*trackless mine*) e o segundo por composição ferroviária (hoje um procedimento ultrapassado).

A FIG 17 apresenta lavra por recalque (*shrinkage stopes*), com o minério desmontado parcialmente armazenado no realce, constituindo a plataforma de trabalho para as operações de perfuração e desmonte. Trata-se de um método artesanal, com mão-de-obra intensiva, hoje usado apenas em certas circunstâncias muito especiais. As FIG. 18 e 19 exibem, respectivamente, os métodos de corte e preenchimento e de *longwall*.

As FIG. 20 e 21 exibem os métodos de abatimento por subníveis e abatimento em blocos que correspondem a métodos subterrâneos de alta produtividade, baixo custo, porém que afetam a superfície do terreno.

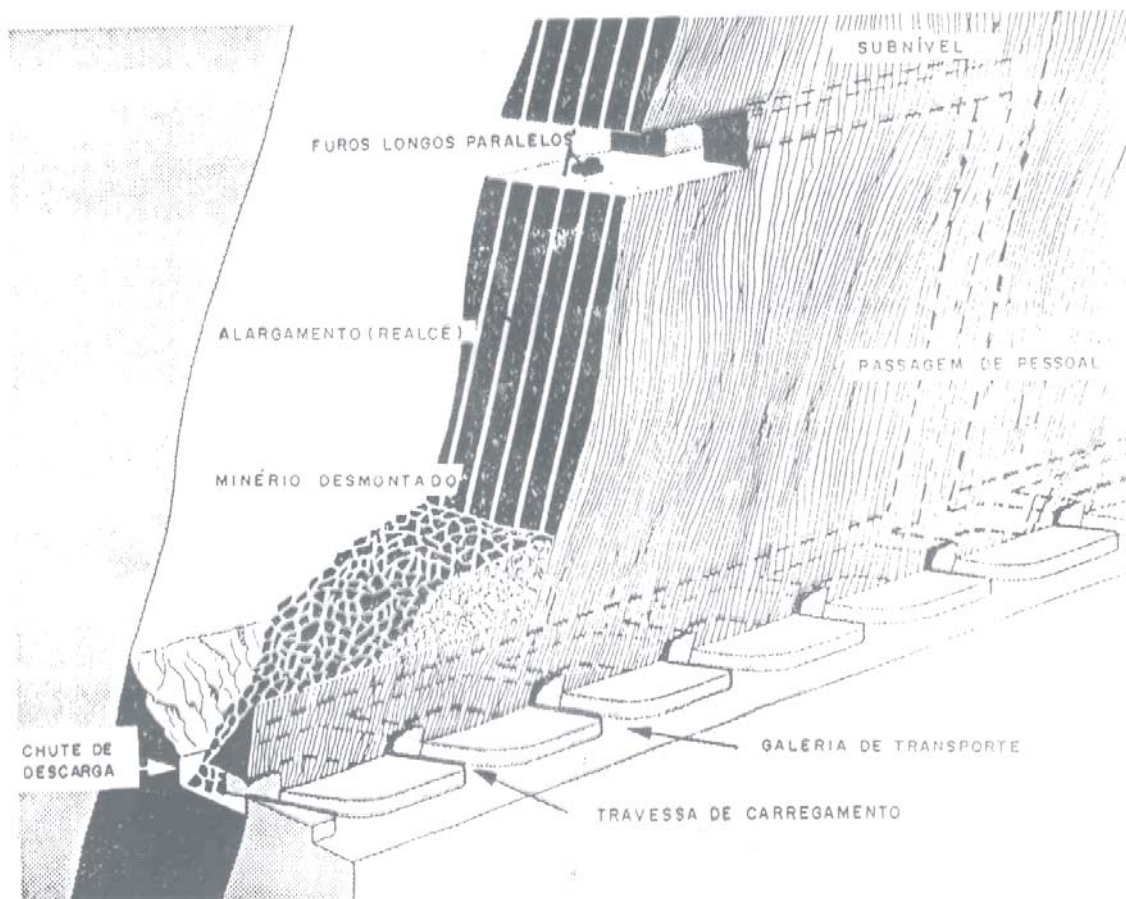


FIGURA 15 – Lavra por subníveis. Furação paralela.

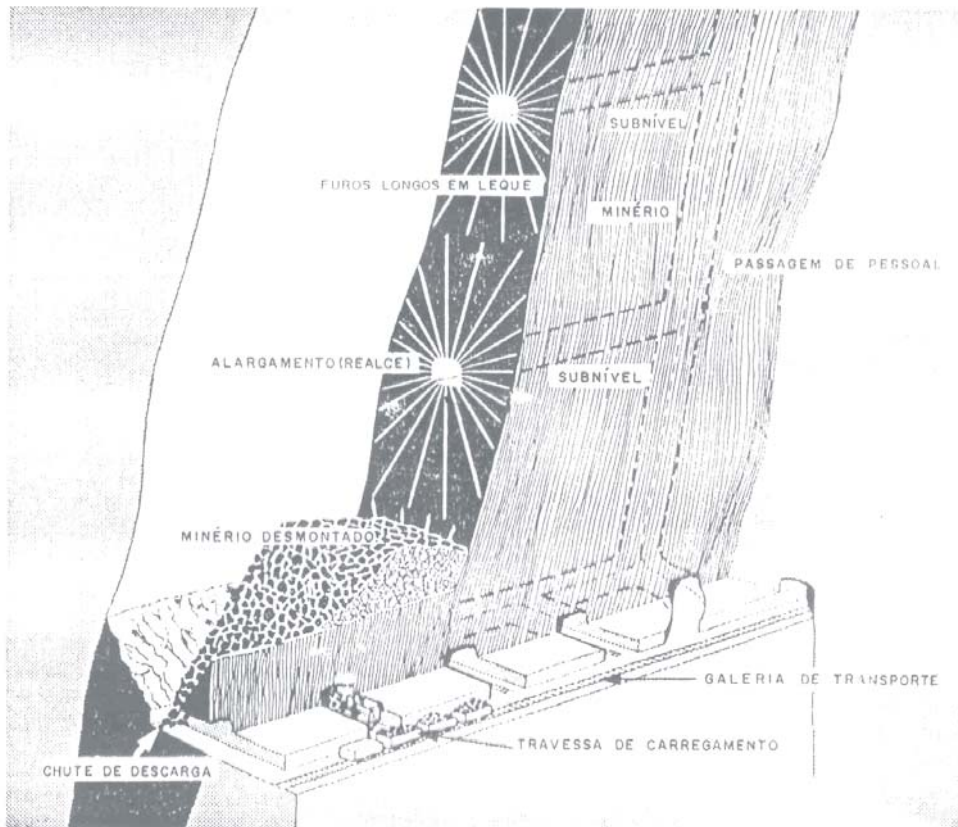


FIGURA 16 – Lavra por subníveis. Furação em leque.

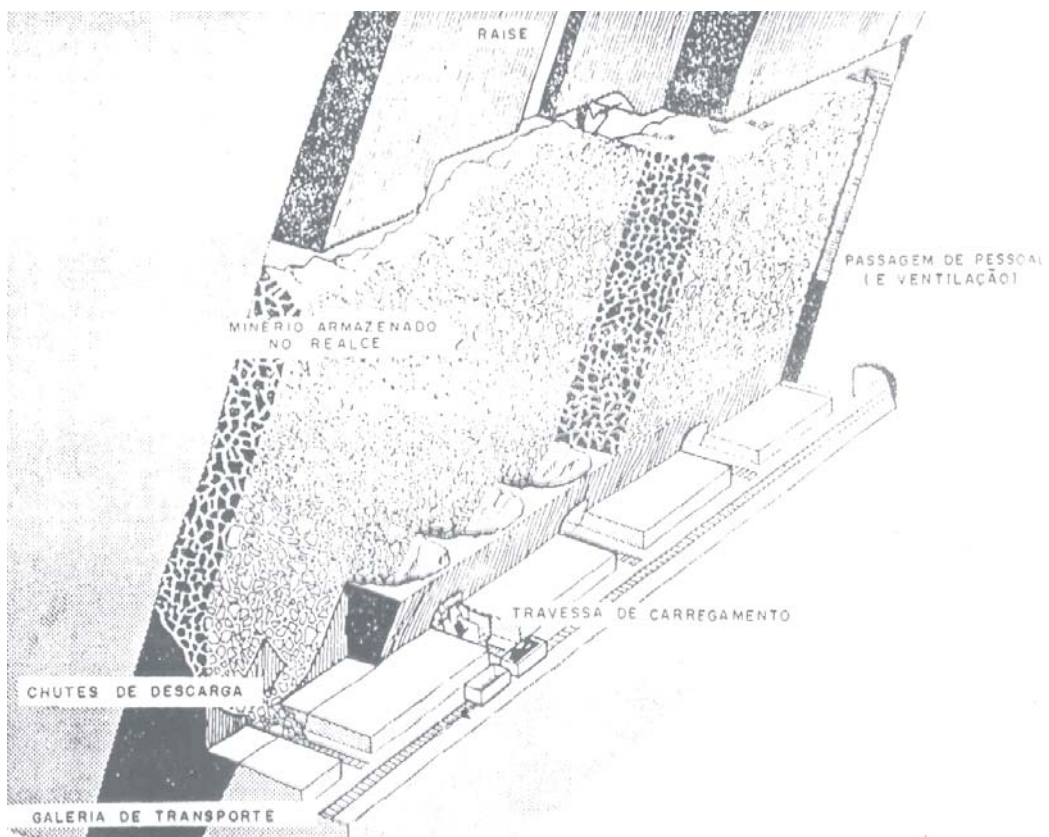


FIGURA 17 – Lavra por recalque.

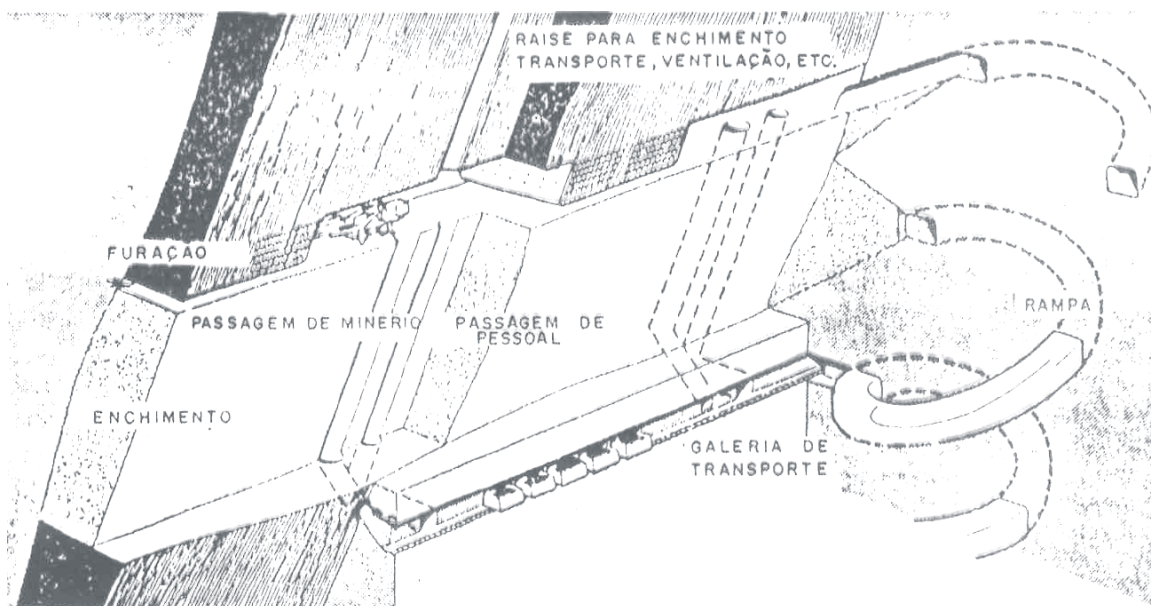


FIGURA 18 – Corte e preenchimento.

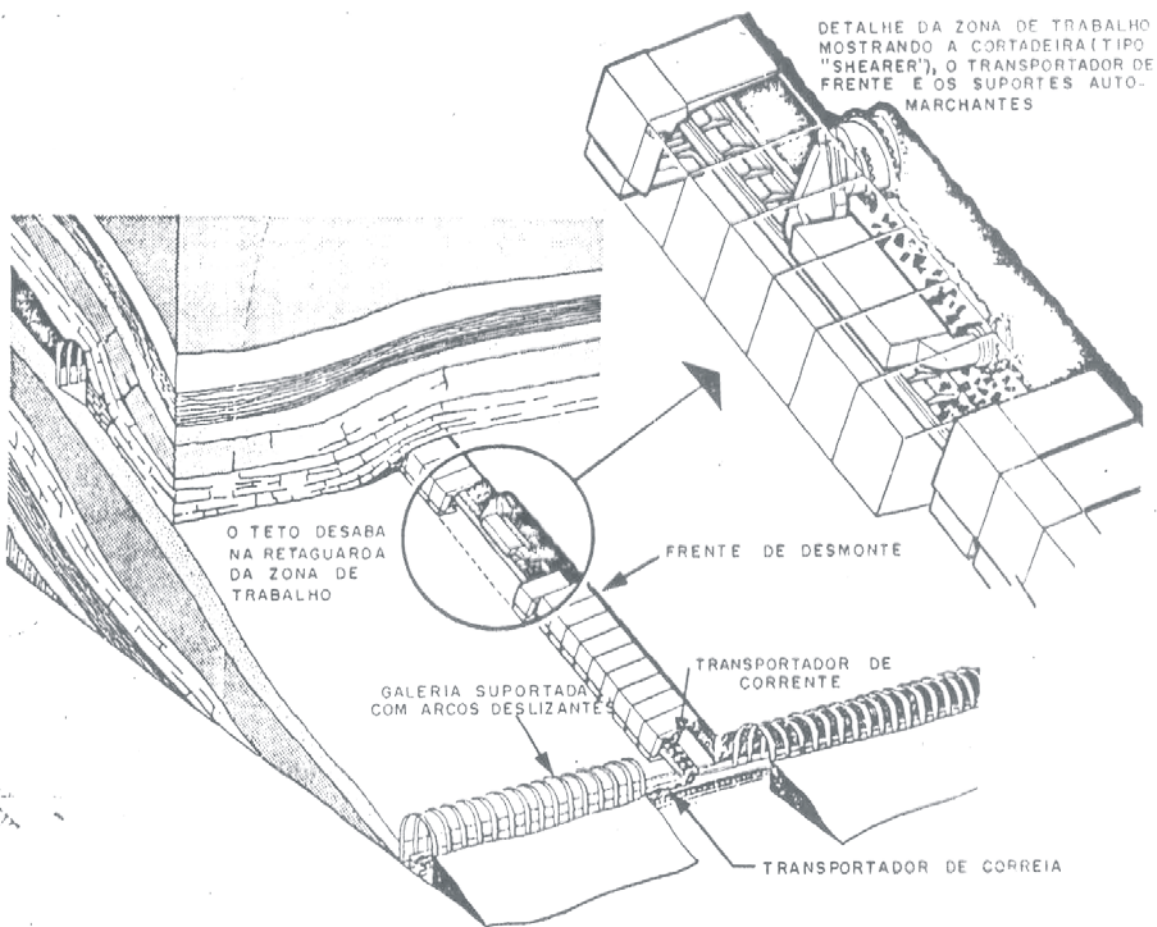


FIGURA 19 – Longwall.

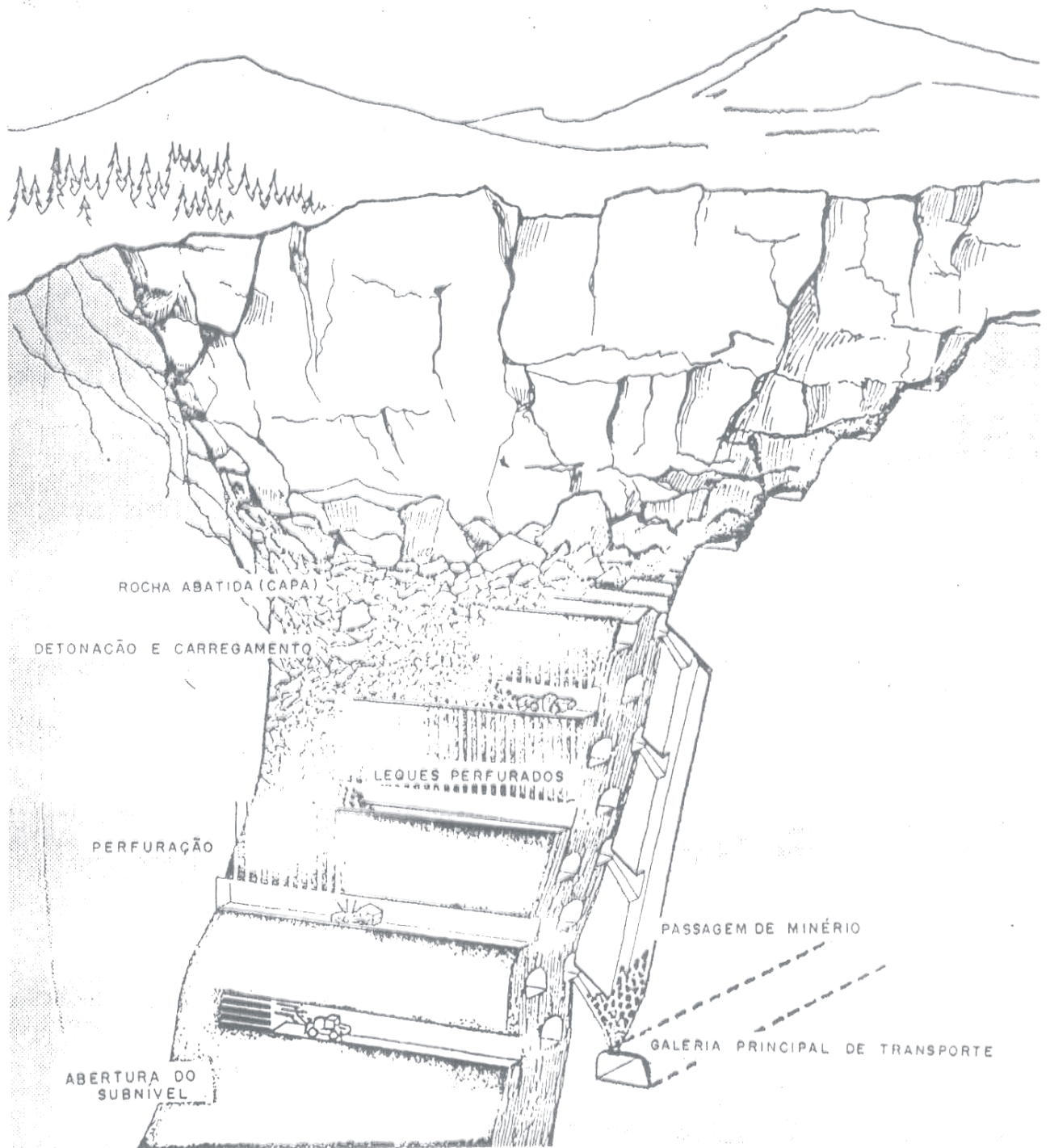


FIGURA 20 – Abatimento por subníveis.

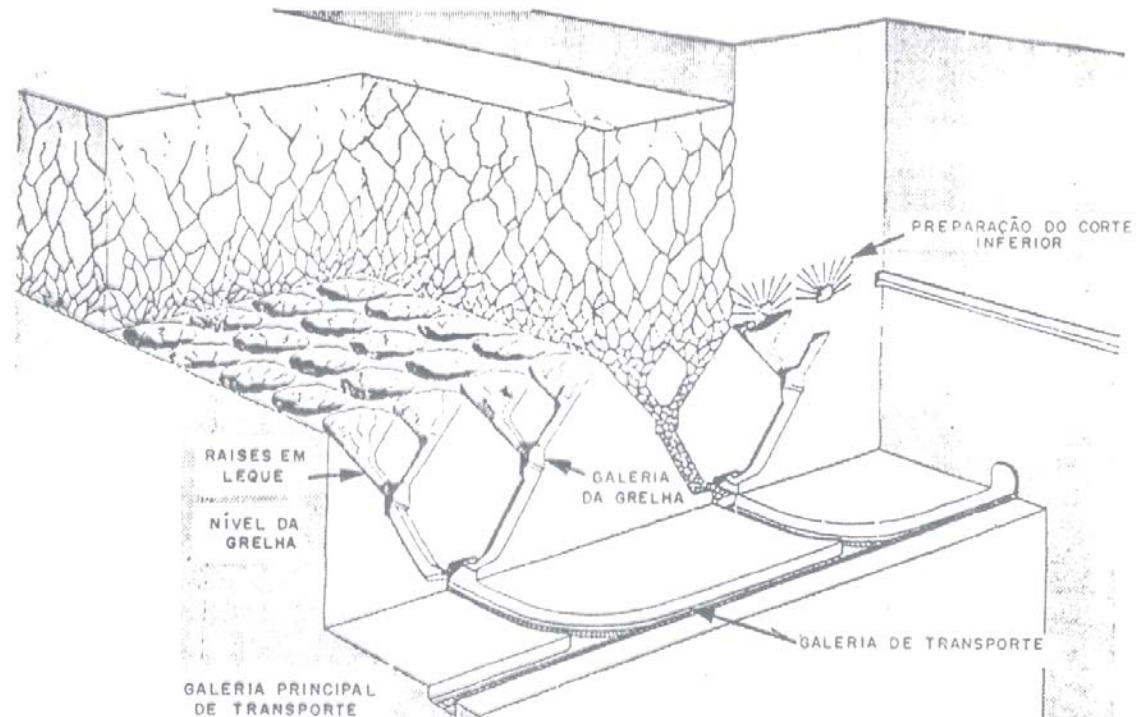


FIGURA 21 – Abatimento em blocos.

A seleção do método de lavra se faz de maneira heurística, com base em informações gerais sobre o depósito mineral e, eventualmente, guiando-se por planilhas como a de Boskov e Wright apresentada no QUADRO 2.

QUADRO 2 - Seleção de Métodos de lavra (continua)

Tipos de corpos de minério	Mergulho	Competência do minério	Competência das encaixantes	Método de lavra comumente empregado
Camadas delgadas	Suave	Forte	Forte	Realces abertos com pilares ocasionais Câmaras e pilares Frente ampla (<i>longwall</i>)
Camadas espessas	Suave	Forte	Forte	Realces abertos com pilares ocasionais Câmaras e pilares <i>Top slicing</i>
Camadas muito espessas				Métodos idênticos àqueles aplicáveis aos corpos maciços
Veios delgados muito	Forte	Fraco	Fraco e forte	<i>resuing</i>

QUADRO 2 - Seleção de Métodos de lavra (conclusão)

Tipos de corpos de minério	Mergulho	Competência do minério	Competência das encaixantes	Método de lavra comumente empregado
Veios estreitos	Suave forte	Forte	Forte	Idênticos a camadas delgadas Realces abertos Câmaras armazéns Corte e enchimento <i>Square sets</i> Realces abertos <i>Square sets</i> <i>Top slicing</i> <i>Square sets</i> Idem corpos maciços ou camadas espessas Realces abertos <i>Glory hole</i> subterrâneo Câmaras armazéns Realce por subníveis
Veios espessos		Forte	Forte	Corte e enchimento Métodos combinados Corte e enchimento <i>Top slicing</i> Abatimento por subníveis <i>Square sets</i> métodos combinados Realces abertos <i>Top slicing</i> Abatimento por subníveis Abatimento por blocos <i>Square sets</i> Métodos combinados <i>Top slicing</i> Abatimento por subníveis <i>Square sets</i> Métodos combinados <i>glory hole</i> subterrâneo Câmaras-armazéns Abatimento por subníveis Corte e enchimento Métodos combinados
Maciços		Fraco	Fraco ou forte	<i>Top slicing</i> Abatimento subníveis Abatimento por blocos <i>Square sets</i> Métodos combinados

Suponha, a título de exemplo, para propósitos didáticos de triagem de métodos de lavra, a existência de um veio aurífero muito rico e delgado (v.g. 2,5m de possança), subvertical, relativamente resistente e com encaixantes robustas.

Examinando-se a tabela retro referida, eliminam-se de plano todos os métodos empregados para camadas horizontais como câmaras e pilares, *longwall*, *top slice* etc. Eliminam-se também todos os métodos voltados a veios espessos (v.g. *square sets*), veios muito delgados (*resuing*) e, evidentemente, também os métodos aplicáveis a corpos maciços (abatimento por subníveis, abatimento por blocos) etc. Realizadas todas estas eliminações, restam na casa dos veios estreitos, com mergulho forte e encaixantes competentes os seguintes métodos:

- Realces abertos
- Recalque
- Corte e enchimento

Sem dúvida alguma os três métodos acima atendem o requerido pela lavra e devem, de agora para frente, ser examinados em mais detalhes. Imagine, num raciocínio simples, que se elimine o método de realces abertos por questões de segurança (pois grandes aberturas sem suporte são efetivamente perigosas) e, logo em seguida, se elimina o método de recalque por envolver mão-de-obra intensiva e ser tecnicamente ultrapassado. O método final selecionado passou a ser o corte e enchimento.

4.2.1 Notas sobre o Planejamento Mineiro

- Conceitos Fundamentais

A alternativa de se lavar a céu aberto ou subterraneamente depende maiormente dos custos relativos de mineração. Em todas as circunstâncias, o custo tanto de capital quanto de operação devem ser considerados. A decisão correta é importante, principalmente porque comumente são feitos compromissos de venda antes do projeto ser implantado. Não se pode perder tempo nem desperdiçar oportunidades.

Os equipamentos para as minerações a céu aberto e subterrânea não são intercambiáveis. Além disso os investimentos para ambos os tipos de equipamentos, bem como para o desenvolvimento ou preparação das minas são feitos antes do empreendimento entrar em produção e do método escolhido mostrar-se efetivamente adequado. Assim, estudos de engenharia são fundamentais para se escolher o método de lavra mais favorável. Em geral, a mineração a céu aberto é mais econômica para grandes corpos de minério associados a coberturas não excessivas. Esta é geralmente a situação das jazidas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais e, por consequência, também da APA Sul RMBH. Já mineralizações auríferas da área reportam-se a veios de ouro de possança pequena a média, subverticalizadas e muito profundas, implicando em lavra subterrânea.

Algumas vantagens das lavras a céu aberto são as seguintes:

- Primeiramente, os métodos de lavra a céu aberto são flexíveis, possibilitando rápidas mudanças no esquema produtivo em tempo muito curto.
- Em segundo lugar, os métodos a céu aberto são mais seguros. Locais com rochas instabilizadas são notados com maior facilidade e o problema pode ser prontamente sanado com relativa facilidade. Os operadores são também mais facilmente vistos pelos seus superiores. Trabalhando-se com grandes equipamentos têm-se um número menor de operários melhor preparados e mais fácil de serem administrados.
- Em terceiro lugar, a lavra a céu aberto é mais compatível com operações seletivas. O controle dos teores (*grade control*) torna-se mais fácil, deixando para trás alguns blocos de minérios mais pobres ou removendo-os como estéril.
- Em quarto lugar, o custo unitário de uma lavra a céu aberto costuma ser apenas uma fração do custo de uma lavra subterrânea.

Conforme já mencionado anteriormente, a lavra a céu aberto não pode ir se aprofundando indeterminadamente. A medida que a lavra se aprofunda, vai subindo a relação estéril/minério até chegar em um ponto que passa a ser vantajoso o exercício da lavra subterrânea.

- Arranjo Geral (*Layout*) da Mineração

É necessário proceder o planejamento da lavra a céu aberto concomitantemente com o seu estudo de viabilidade técnica-econômica. Uma das primeiras considerações no planejamento mineiro se reporta à previsão da quantidade de estéril a ser produzida. Este estéril deve ser estocado em algum lugar seguro e apropriado. Há algumas décadas atrás (antes do advento e popularização do computador) desenhavam-se seções regulares, aproximadamente perpendiculares à direção (*strike*) do corpo do minério, calculando-se o

striping requerido para várias profundidades da mina. Hoje esta tarefa é feita com grande precisão através de técnicas de otimização de cava apoiadas em computador, havendo vários softwares disponíveis no mercado para a execução desta importante tarefa.

Neste ponto, outra decisão que carece de ser tomada refere-se aos ângulos de talude da cava projetada. O volume de estéril produzido é significativamente afetado pelo ângulo de talude da escavação, e assim deve ser levado a cabo uma cuidadosa avaliação dos parâmetros geotécnicos. Caso existam outras minas operando na área, eventualmente poderá ter seus dados extrapolados para a nova mina, pelo menos em nível preliminar. A quantidade de chuva e os seus efeitos no minério e estéril é outra importante consideração. As discontinuidades das formações rochosas (fraturamento e falhas) e o grau de intemperismo são outras considerações de grande importância. Por exemplo, se uma determinada formação rochosa estiver bastante fraturada segundo o plano de seu mergulho e se esse mergulho tiver um caimento para o centro da mina conforme está planejada, o ângulo de talude da cava provavelmente deverá ser igual ou inferior ao mergulho da formação geológica. Se o mergulho da formação for vertical ou se ele estiver dirigido à borda da escavação, o ângulo geral de talude poderá ser mais abrupto. Naturalmente, quanto mais verticalizada for a parede da mina, menor será a relação estéril / minério e, por conseqüência, menor será o custo da mineração. Os ângulos de talude das principais minerações a céu aberto no Quadrilátero Ferrífero são variáveis e costumam estar por volta dos 35 a 50 graus.

A altura da bancada de trabalho e a largura das bermas encontram-se, de certa forma, associadas ao ângulo de talude da mina. A altura do banco de lavra deve ser dimensionada em função do uso eficiente de equipamentos de perfuração e transporte. Os bancos de lavra devem ser os mais altos possíveis sem contudo necessitar excessivo abatimento de massas rochosas soltas.

A escala da produção é outra importante consideração que afeta o *layout* geral da operação e a altura do banco de lavra. Se as reservas minerais forem elevadas e o mercado estiver sob forte demanda, pode-se praticar lavra em grande escala, com o dimensionamento de equipamentos de maior porte e, por conseqüência, bancos de minas mais altos. De outro lado, lavras mais seletivas associadas a reservas de menor porte e escala de produção mais baixa encontram-se ligadas a equipamentos de menor tamanho e bancos mais baixos. Eventualmente pode-se notar a lavra com equipamentos inadequados ou mal-dimensionados, como nas situações de empresas de mineração que já possuam determinados equipamentos e os empregam na lavra, evitando assim a compra de equipamentos mais adequados.

A altura das bancadas da mina, nas principais operações mineiras do Quadrilátero Ferrífero é da ordem dos 13, 10 e 7 metros, para as minas de grande, médio e pequeno porte, respectivamente.

As bermas são normalmente dimensionadas para reter algum material desgarrado das paredes, bem como para suportar o tráfego dos principais equipamentos da mineração. Quando a mina aproxima-se do fim de sua vida, as bermas costumam ser reduzidas, ajustando-se ao ângulo final de talude projetado. Nas lavras do Quadrilátero Ferrífero, as bermas geralmente apresentam dimensões entre 8 a 15 metros.

Quando se estabelece a escala de produção para o projeto mineiro definitivo, os estudos de lavra devem ser feitos de forma bastante detalhada. Neste estágio dos trabalhos, deve-se estar de posse dos desenhos de todos os bancos de lavra com os ângulos de taludes corretos, as quantidades de minério e de estéril desmontados em sucessivos avanços etc. Costuma-se desenhar a cava para uma sucessão de anos, tais como 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15 e 20 anos, mais a cava final. No projeto definitivo, tanto a cava final quanto as cavas intermediárias devem ser *operacionalizadas*, isto é devem ser estabelecidos os acessos

principais e os secundários para todas as frentes de lavra e calculados os volumes de escavações efetivamente necessários. Nesta altura do projeto, o transporte de minério e estéril já deve estar muito bem definido, podendo se dimensionar os equipamentos e frotas para todos os anos de produção.

As FIG. 22 e 23 correspondem a um estudo de caráter conceitual de uma pequena mina canadense de nióbio da St. Lawrence Columbian and Metals Corp. Nestes desenhos o leitor pode notar que o projeto já se encontra totalmente estruturado, carecendo, todavia, de detalhamento. São observadas em planta a conceituação preliminar de duas cavas voltadas ao aproveitamento do minério, situado em dois corpos mineralizados distintos, além da tentativa do projeto de estabelecer uma cava única e grande, englobando todas as mineralizações. Encontram-se também representadas nos desenhos as várias estradas de ligações, a usina de beneficiamento, as utilidades e facilidades do empreendimento etc. No perfil vertical encontram-se apresentadas as diversas litologias envolvidas e o talude final da cava.

O projeto de uma mina é um exercício especializado de engenharia econômica e ao lado das soluções técnicas atemporais o projetista deve também planejar as operações no correr dos anos, bem como, avaliar os produtos comercializáveis e os custos de capital e de operações envolvidos. Os teores e outras características dos minérios são variáveis no espaço e, por conseqüência, também o são os custos operacionais. Em alguns tipos de mineração (v.g. ouro, eventualmente cobre) costuma-se privilegiar o minério mais rico para assim maximizar o valor presente do fluxo de caixa. Na maioria das comodidades minerais, contudo, esta alternativa não é válida, pois privilegiando-se o minério de melhor qualidade desequilibra-se a jazida e deixa-se de aproveitar o minério de pior qualidade. Com isto diminui-se a vida da mina e inclusive prejudica-se o fluxo de caixa. Ademais, em muitos complexos mineiros deve-se alimentar as instalações de processamento mineral/metallurgista extrativa com um material de características constantes. Em todos os casos, todavia, os fatores de controle são importantíssimos e determinados com a devida antecedência e assim procedendo, prevê-se temporalmente a quantidade e a qualidade dos produtos comercializados e os custos envolvidos. Destarte, após uma cuidadosa análise de todas as condicionantes lógicas que poderão ocorrer, estabelece-se o método de exploração e os detalhes da operação que melhor atendam o projeto.

O número de operações e o volume de cálculo que envolvem os projetos e operações mineiras, tanto a céu aberto quanto subterrânea, são muito grandes de sorte a ser impossível tratá-los por métodos manuais. Felizmente, surgiram a partir dos anos 60, procedimentos de modelamento matemático e simulações de sistemas mineiros e de processamento mineral/metallurgia extrativa. O uso eficiente e correto dos modelos matemáticos requer um certo discernimento e experiência do usuário, pois o mau uso dos mesmos pode levar a decisões erradas com efeitos catastróficos. As grandes empresas de mineração estabelecidas na APA Sul RMBH usam intensa e extensamente modelos matemáticos e recursos computacionais para modelar seus depósitos, avaliar suas reservas minerais, conceber e dimensionar seus sistemas mineiros e projetos de tratamento de minério/extração metalúrgico, para otimizar suas operações etc. Recursos minerais correspondem a bens naturais não-renováveis que devem ser aproveitados com bastante consciência e extremo cuidado. Neste contexto são de extrema importância as técnicas matemáticas de otimização e o apoio computacional para estes cálculos.

O pioneirismo da computação aplicada à mineração em nosso país pode ser creditado à Cia. Vale do Rio Doce (CVRD) que já na segunda metade dos anos 60, otimizava seus sistemas produtivos com apoio em técnicas e procedimentos de Pesquisa Operacional, implementados nos velhos computadores (*mainframes*) IBMs 350/360, disponíveis na cidade de Vitória, ES. O crédito à primeira aplicação de Geoestatística/Planejamento mineiro em minérios de ferro no Brasil deve ser atribuída a Minerações Brasileiras Reunidas.

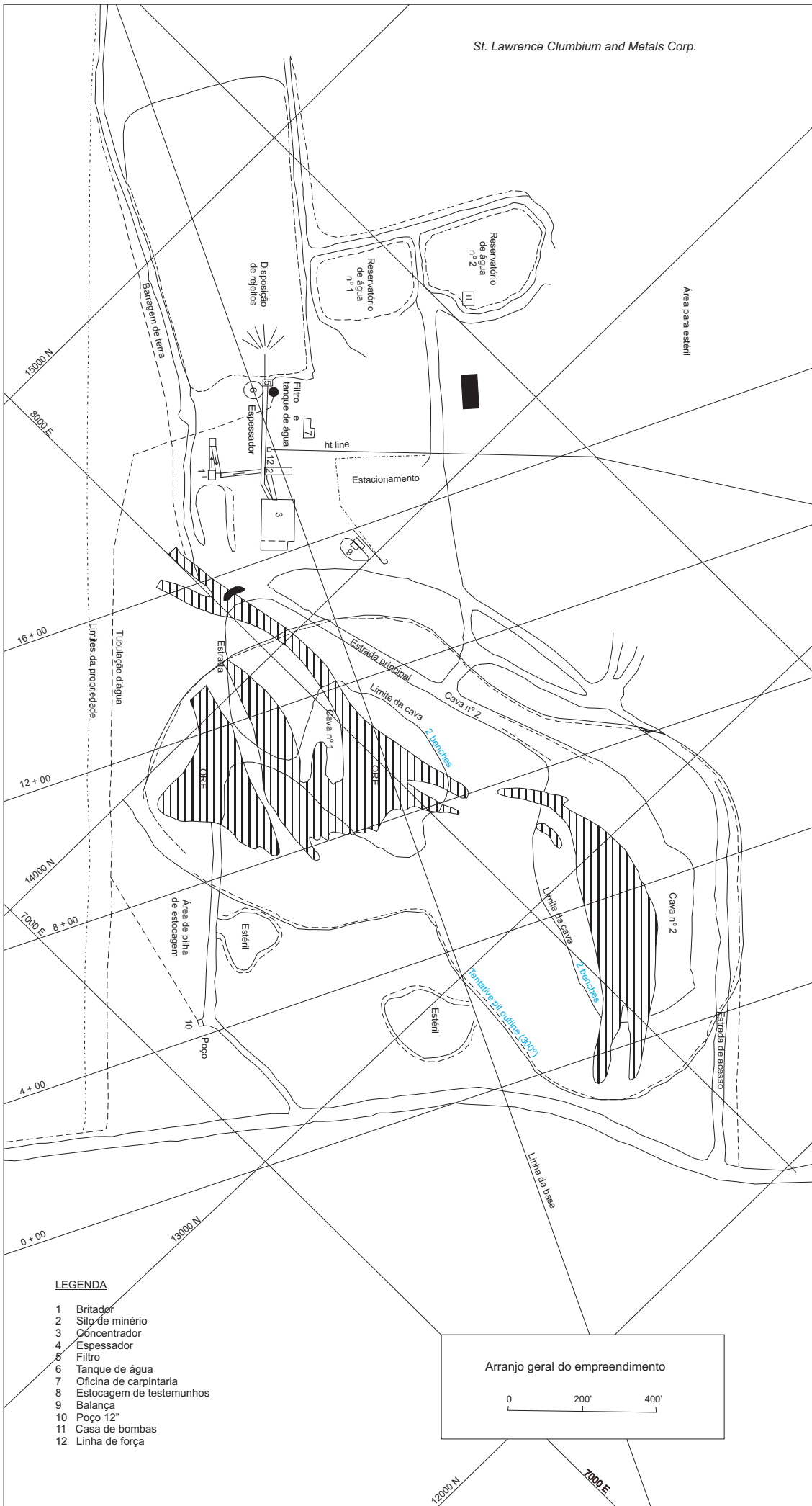


FIGURA 22 - Superfície idealizada de uma mina em planta

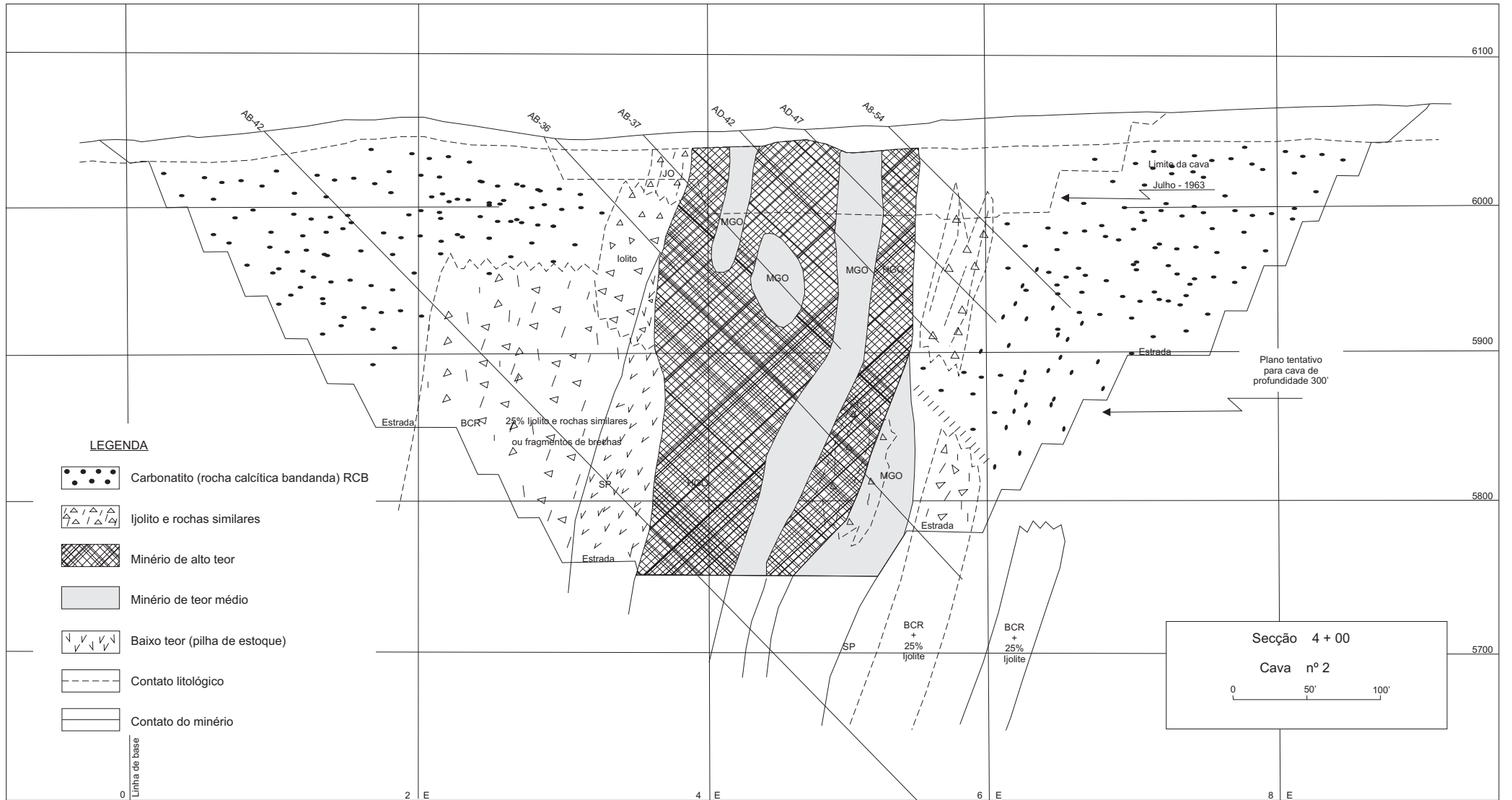


FIGURA 23 - Superfície idealizada de uma mina em perfil

(St. Lawrence Columbian and Metals Corp.)

(MBR), no início dos anos 80. Até então, injustificadamente, acreditava-se que os minérios de ferro fossem extremamente variáveis, não comportando modelamentos em computador e incapazes de gerar variogramas bem estruturados (transitivos e de razoável amplitude), prevalecendo os métodos clássicos de avaliação. Este paradigma foi assim quebrado e hoje os métodos geoestatísticos estão notavelmente disseminados por toda indústria mineira do ferro que trabalha com os mais elevados padrões internacionais.

O arranjo geral (*layout*) da mineração, incluindo a locação da instalação de tratamento de minérios/metalurgia extrativa além das instalações de apoio administrativo e operacional (utilidades e facilidades) é de grande importância em todo o projeto/planejamento mineiro. As locações da planta de tratamento/metalurgia, pilhas de estéril e disposição de rejeitos têm impacto direto nos custos de operação do empreendimento, por toda a vida da mineração e assim devem ser escolhidas com o máximo cuidado. Naturalmente, a locação destas unidades deve ser feita com todo o cuidado para minimizar o impacto ao meio ambiente incluindo eventuais riscos do projeto. O projetista da mineração não deve ainda perder de vista que o estéril ou rejeito de hoje pode vir a ser o minério de amanhã. Acrescenta-se casos no Brasil e no exterior de reaproveitamento de estéreis e de antigos rejeitos de beneficiamento e o projeto atual não deve dificultar o eventual aproveitamento futuro. Em particular no Quadrilátero Ferrífero/APA Sul RMBH existem antigas pilhas de estéril/rejeitos de beneficiamento relativamente ricos que merecem ser aproveitados. Em algumas circunstâncias observam-se ainda estéreis/rejeitos ou infraestruturas indevidamente estabelecidas sobre minérios o que implica na necessidade de remoção para aproveitamento mineral ou na perda inexorável deste recurso não-renovável.

A discussão desse assunto é muito mais ampla do que a aqui apresentada e pode ser vista em maiores detalhes nos bons textos de planejamento mineiro como [Hustrulid e Kuchta \(1995\)](#) e em inúmeros artigos de estudos de casos da literatura técnica nacional e internacional.

4.2.2 Descapamento (*Stripping*)

A maioria dos corpos de minérios/jazidas minerais, susceptíveis de lavra a céu aberto, encontra-se recoberta por material terroso, areia, cascalho, rochas, misturas destes materiais ou mesmo água. A remoção destes materiais costuma ser chamada de descapamento, decapamento ou *stripping*. Normalmente, a remoção do material rochoso de cobertura é uma operação típica da mineração, assim esta discussão volta-se maioritariamente para os materiais inconsolidados, cuja a retirada é muitas vezes empreitada. Esta operação é feita normalmente com equipamentos básicos de terraplenagem, como tratores de esteiras e *scrapers* mostrados nas FOTOS 3 e 4.

- Equipamentos

Possivelmente o equipamento de terraplenagem mais versátil que existe voltado a movimentação de terra em curta distância é o trator de esteiras. O trator típico empregado nos descapamentos das minas a céu aberto do Quadrilátero Ferrífero e da APA Sul RMBH possui potência no entorno dos 300 a 400 HP (250 a 300 kW aproximadamente), pesando cerca de 35 a 50 toneladas. Estas máquinas podem operar com diferentes velocidades, tanto a vante quanto a ré, até aproximadamente 13 km/h. Qualquer que seja o trator selecionado, os três principais fatores que afetam o seu desempenho são: sua potência, peso e velocidade.

Na maior parte dos trabalhos o trator de esteira é implementado com uma lâmina acionada por pistões hidráulicos, transformando-se numa unidade capaz de escavar e transportar terra que recebe a designação de *bulldozer*. Algumas vezes este equipamento é implementado com escarificadores capazes de desagregar materiais mais duros.



FOTO 3 – Trator de esteira



FOTO 4 – Equipamento de terraplanagem, Scraper.

O *scraper* é menos versátil do que o trator e é usado em operações similares, todavia quando se deseja transportar o material escavado em maior distância. O tipo mais comum de *scraper* é o *motoscraper* que trata-se de um equipamento sob rodas, auto-proferido capaz de escavar o solo, carregar, transportar e descarregar. Estes equipamentos são caros e muito especializados de sorte que empresas de mineração geralmente alugam-nos para trabalhos temporários e especializados.

Inúmeros outros equipamentos podem ser usados no descapeamento/preparação de minas, entre os mesmos escavadeiras, carregadeiras, caminhões etc.

- Procedimentos

O descapeamento de uma nova jazida mineral, normalmente ocorre concorrentemente com a preparação da nova mina e implementação da instalação de tratamento de minérios e demais utilidades e facilidades do empreendimento. O projetista deve conceber e detalhar os melhores procedimentos para realizar este conjunto de tarefas. Normalmente estas atividades são realizadas por terceiros e seus custos são apropriados nos pré-investimentos do projeto.

4.2.3 Perfuração de Rochas

- Equipamentos

A perfuração de rochas é uma operação básica no ciclo produtivo das minerações tanto a céu aberto quanto subterrânea. Por esta razão os inúmeros fornecedores de perfuratrizes de rocha esforçam-se continuamente para produzir equipamentos cada vez mais eficientes e associados aos menores custos de capital e de operação. Encontram-se no mercado disponíveis vários tipos de perfuratrizes como as *churn drills*, as perfuratrizes a percussão, as perfuratrizes rotativas, etc. Todas estas máquinas são projetadas com um objetivo em mente: produzir furos de determinados diâmetros, profundidade e direção na rocha para permitir a introdução de explosivos.

O objetivo fundamental no projeto de uma perfuratriz de rochas é o de prover uma ferramenta de corte capaz de desgastar rapidamente a rocha e prover a devida potência para a realização deste trabalho. No projeto deste sistema é muito importante furar rápido bem como usar eficientemente a potência disponível. A potência despendida é transformada em rotação, empuxo, impactos ou a combinação destas ações. A fonte de potência pode ser elétrica, ar comprimido ou óleo diesel. A ferramenta cortante deve ser projetada de tal forma a fragmentar (lascar) a rocha a medida que a potência for aplicada. As lascas das rochas devem ser imediatamente removidas do fundo do furo, por fluxo de ar ou água, à medida que vão sendo produzidas. As perfuratrizes grandes e modernas, normalmente apóiam-se em estruturas elaboradas como mastros e implementos de alta qualidade tais como hastes, cabos etc. Dois tipos de perfuratrizes estão representados nas FOTOS 5 e 6.



FOTO 5 – Perfuratriz a percussão para furos com 6 ½” de diâmetro



FOTO 6 – Perfuratriz rotativa

O tipo mais primitivo de perfuratriz de rocha talvez seja a *churn-drill*. Neste tipo de equipamentos tem-se um cilindro metálico pesado com uma de suas extremidades forjada e endurecida para prover uma superfície cortante; a outra extremidade do cilindro possui um adaptador amarrado a um cabo de aço. Através de um motor esta ferramenta é elevada pelo cabo de aço e em seqüência é solta no furo. Quando a ferramenta cai, lasca a rocha aprofundando-se o furo. Um fluxo de água contribui para a retirada do material cominuído na forma de polpa. Estas máquinas praticamente desapareceram das minerações sendo tão somente usadas para furos com propósito de obtenção de água.

Os *wagon-drills* são equipamentos gerados pelas primitivas perfuratrizes percussivas. Os *wagon-drills* consistem essencialmente em um chassi tubular montado sobre rodas com um mastro que serve de guia para hastes e ferramenta cortante. As hastes e a ferramenta de corte avançam e retraem com ajuda de um sistema de correntes. A potência é usualmente obtida de ar comprimido gerado por compressores móveis. A perfuratriz roto-percussiva e a rotação da haste e ferramenta de corte é conseguida graças a um engenhoso dispositivo de engrenagem helicoidal e catraca que gira com o sopro de ar na mesma. As lascas das rochas são retiradas pelo fluxo de ar comprimido ou de água no furo. Quando o comprimento do furo for superior ao comprimento das hastes com a ferramenta, adicionam-se extensões até atingir o comprimento requerido para o furo.

O projeto básico do *wagon-drill* vem sendo melhorado com o correr dos tempos. São montadas perfuratrizes maiores e mais possantes e estruturas cada vez mais fortes. Modernas perfuratrizes são montadas em caminhões que conferem à máquina uma mobilidade muito grande e a capacidade de se movimentar sobre terrenos acidentados. São usados mastros cada vez mais altos o que permite o uso de hastes cada vez mais compridas sem a necessidade do uso de extensões. As *wagon-drills* mais possantes usam ferramentas de até 4 polegadas (10 cm) de diâmetro, possibilitando assim uma vida mais longa para as mesmas. Os fabricantes de equipamentos melhoraram sobremaneira os controles da pressão, rotação e extração dos bits de perfuração. *Wagon-drills* de menor porte são muito usados para abertura de novas minas e furação secundária.

A perfuratriz percussiva auto propelida corresponde a uma máquina desenvolvida a porte da *wagon-drill* para furos de maior diâmetro. As partes básicas das perfuratrizes como as unidades de potência, mastros, hastes, bits, devem ser escalonadas acompanhando o aumento do diâmetro do furo. O aumento do tamanho da máquina confere uma grande inércia e dificuldade de se movimentar necessitando de um trator para promover tais deslocamentos. O nivelamento do trator em terreno acidentado é obtido através da potência hidráulica. Potência extra é necessária para levantar hastes e ferramentas pesadas. A energia para operar a máquina bastante complexa é obtida de compressores de ar movidos a motores a diesel, quer montados no trator quer movidos por uma fonte elétrica externa. Caso se disponha de energia elétrica esta é a opção que deve ser escolhida. Os pós gerados por estas perfuratrizes são retirados do fundo do furo por ar comprimido e dado o seu grande volume não podem ser jogados na atmosfera sendo geralmente coletados por aero-ciclones. Estes pós muitas vezes servem como amostras de controle de teor nas operações de lavra. As primeiras perfuratrizes percussivas transmitiam a energia à ferramenta cortante através da coluna de hastes. Perdas de eficiência nesta operação motivaram a procura de outros meios para usar melhor a energia.

Uma vez que se constatou uma grande perda de energia na transmissão da fonte de potência até a ferramenta de corte, passando pela pesada coluna de hastes, pensou-se em meios para evitar essas perdas. A solução foi o dispositivo *down-the-hole*, similar às perfuratrizes percussivas tradicionais, exceto que o martelo percussivo é posicionado imediatamente acima e próximo da ferramenta de corte (*bit*). A FIG. 24 mostra o arranjo dentro do furo. A partir desta invenção a maioria das grandes perfuratrizes percussiva trocou para o dispositivo *down-the-hole* por ser muito mais eficiente. Na sua conceituação básica,

as perfuratrizes percussivas conseguiram penetração em função de potência transmitida à ferramenta em termos de rotação, impacto e empuxo. Rotação e impacto são obtidos em função do projeto da ferramenta e o empuxo em função do peso da coluna e da potência da fonte motora.

Nas últimas décadas tem crescido o interesse mineiro pelas máquinas perfuratrizes que usam rotação e empuxo para a perfuração de rochas. Estes equipamentos, geralmente referidos como perfuratrizes rotativas foram originalmente desenvolvidos para a indústria do petróleo e rochas sedimentares, maciças. Todavia, com o passar dos anos estas máquinas foram adaptadas para outros tipos de rochas, incluindo-se as ígneas e as metamórficas. Face a inúmeros avanços, as perfuratrizes rotativas instalaram-se na mineração de grande porte nacional e internacional. Assim, a Mineração Caraíba, estabelecida sobre rochas ultramáficas muito duras, usou com sucesso, perfuratrizes rotativas nas suas minas a céu aberto. Estas máquinas evoluíram tanto que chegaram a competir e até deslocar os *jet piercing* das minerações de taconito na América do Norte. Em essência, as perfuratrizes rotativas provêm pressão e rotação na ferramenta cortante em contato com a rocha. A pressão máxima da ferramenta na perfuratriz rotativa equivale ao peso da coluna.

As perfuratrizes rotativas são hoje manufaturadas em vários tamanhos. Um tradicional fabricante de perfuratriz rotativa oferece hoje as seguintes perfuratrizes *standards*:

- Perfuratriz BE#35
 - Diâmetro do furo (max): 229 mm (9 pol.)
 - Carga máxima no *bit*: 34.000kg (75.000lb)
 - Peso em trabalho: 54.432kg (120.000kg)
- Perfuratriz BE#39
 - Diâmetro do furo (max): 311 mm (12 pol.)
 - Carga máxima no bit: 55.000kg (122.000lb)
 - Peso em trabalho: 122.500kg (270.000kg)
- Perfuratriz BE#49
 - Diâmetro do furo (max): 406 mm (16 pol.)
 - Carga máxima no bit: 62.975 kg (141.000lb)
 - Peso em trabalho: 154.224kg (340.000kg)
- Perfuratriz BE#59
 - Diâmetro do furo (max): 229 mm (17,5 pol.)
 - Carga máxima no bit: 74.380kg (165.000lb)
 - Peso em trabalho: 183.673kg (405.000kg)

Regra geral, as perfuratrizes percussivas são aplicadas em rochas extremamente duras. Nestas condições o custo dos bits por metro perfurado costuma ser mais baixo se comparado aos correspondentes dos outros equipamentos. Nos casos em que as rochas não são extremamente duras, normalmente a escolha recai nas perfuratrizes rotativas. Para situações intermediárias ambos os tipos de perfuratrizes podem ser usados. No caso em que a seleção da perfuratriz for duvidosa, costuma-se realizar testes de campo previamente à escolha final.

Inobstante o tipo de perfuratriz escolhido pode-se esperar melhoria contínua para o futuro. Inúmeras melhorias vêm sendo feitas nas perfuratrizes de rocha adaptando-as as condições brasileiras. Entre estas melhorias destacam-se algumas ligadas a maior mobilidade nas condições rústicas do terreno, adaptações das perfuratrizes ao clima tropical, ligas metálicas

mais apropriadas a certos tipos de minérios nacionais, melhoria de condições ergométricas nas cabines de trabalho etc.

A quantidade de acessórios de perfuratrizes é diminuta quando se trata de *churn-drills*. Todavia, nos outros tipos de perfuratrizes notadamente nas rotativas e percussivas, o número de acessórios costuma ser grande incluindo além das ferramentas de cortes (bits), hastes, mangueira etc. A maioria destes itens são vendidos em lojas de suprimentos industriais e não se tratam de itens especializados. Todavia hastes e bits são itens bastante especializados e devem ser escolhidos com extremo critério.

Os furos de menor diâmetro com pequenos *wagon-drills* são comumente feitos com bits de aço ou liga de carbeto de tungstênio. Quando se trata da furação em rochas macias ou decompostas a escolha possivelmente irá recair sobre ferramentas (bits) de aço convencional por ser bastante barato; para rochas mais duras costuma-se escolher bits de carbeto de tungstênio, mais caros porém mais duráveis. Independente do material usado, a forma e o projeto das ferramentas costumam ser parecidos. As feições principais de projeto costumam ser as arestas de corte, a injeção do fluido (ar ou água) para retirada de partículas rochosas moídas, as conexões entre a haste e a ferramenta cortante etc. Dois tipos de bits de percussão são mostrados nas [FIG. 25 e 26](#). Na verdade estes bits são de perfuratrizes *down-the-hole*, porém o projeto de ferramentas cortantes para outras perfuratrizes percussivas são muito similares.

A escolha apropriada do bit para a rocha a perfurar é uma arte. As pastilhas de carbeto de tungstênio são oferecidas numa ampla gama de dureza (*hardness*), quebrabilidade (*brittleness*) e resistência (*toughness*). Estas variáveis refletem diferentes tipos de materiais pela incorporação de ligas de carbeto de tungstênio de granulação variável, e constituição diferente ligantes dos grãos etc. Na prática a melhor escolha da classe da liga a ser usada é feita através de testes em campo.

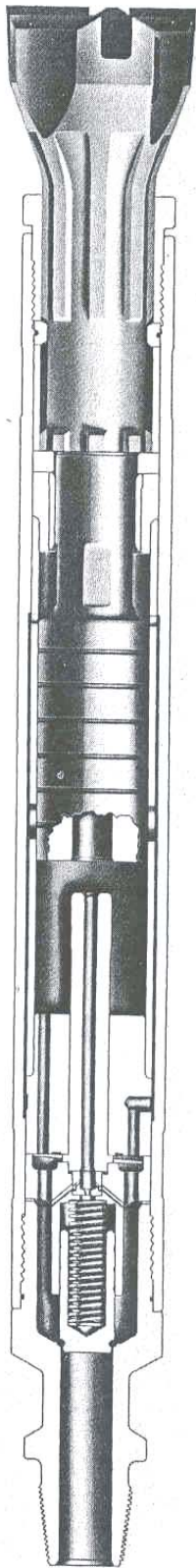


FIGURA 24 – Dispositivo “down the hole”.

FIGURA 25 – “Cross bit” para perfuratrizes down the hole

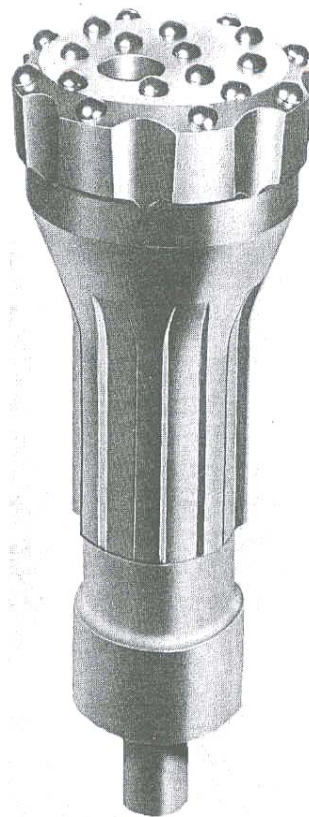


FIGURA 26 – “Button bit” para perfuratrizes down the hole

Em essência as feições dos *bits* de perfuratrizes de grande porte são similares às feições dos *bits* das máquinas menores. No entanto, em função do peso dos grandes equipamentos, e o alto custo das ferramentas de grande diâmetro, os cuidados de sua manutenção são bem maiores. As conexões entre as hastes e as ferramentas são cuidadosamente torneadas enquanto que estas mesmas ligações para equipamentos menores são feitos através de encaixes cônicos bastantes simples. Os grandes *bits* são afiados de tempos em tempos manualmente. Os *bits* de pequenos diâmetros são afiados com auxílio de um gabarito que se ajusta a uma ferramenta politriz.

Bits de perfuratrizes de grande porte seguem determinados desenhos básicos como os mostrados nas FIG. 27 a 30. Nos altos empuxos algumas vezes arrancam as esferas e quebram os dentes destas ferramentas que são recolhidas e devolvidas ao fabricante para reparos. Os dentes e as esferas são manufaturados de aços especiais ou carbeto de tungstênio.

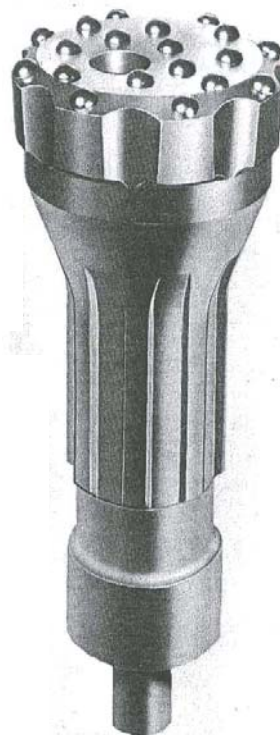


FIGURA 27 – Bit rotativo para rochas macias.

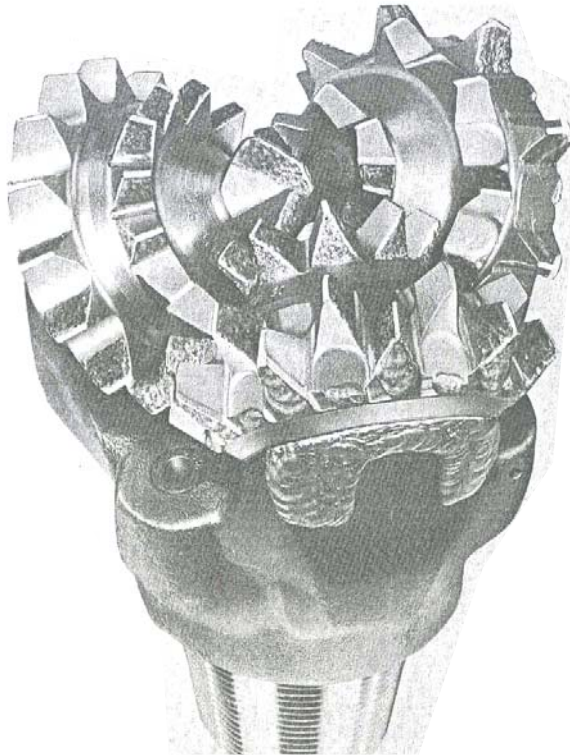


FIGURA 28 – Bit rotativo para rochas de média consistência.



FIGURA 29 – Bit rotativo para rochas duras.

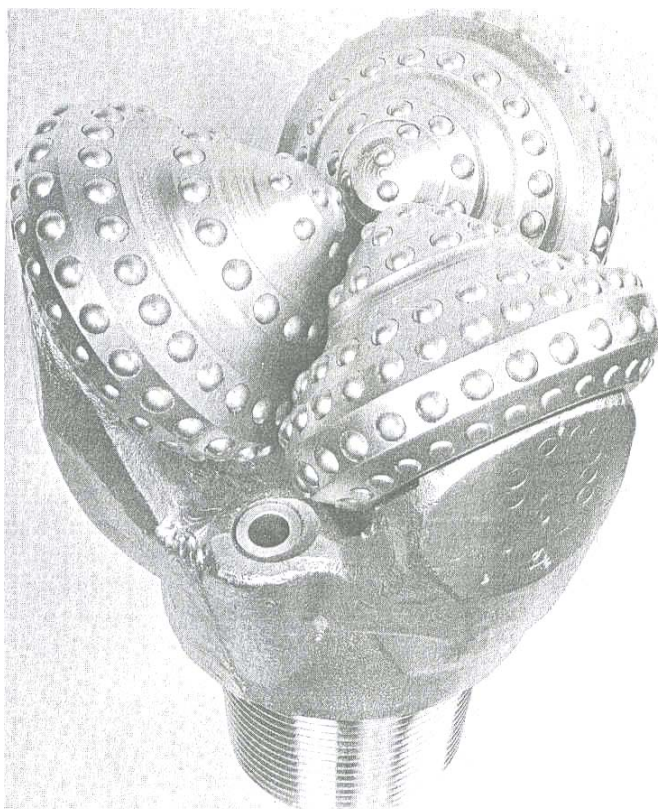


FIGURA 30 – Bit rotativo de carbeto de tungstênio para rochas muito duras.

4.2.4 Desmonte por Explosivos

Basicamente os explosivos correspondem a compostos químicos que, quando confinados, contêm todos os requerimentos para a combustão completa, sem a necessidade da introdução de oxigênio do meio exterior. Os ingredientes usados devem também ser bastante sensíveis para detonarem quando for aplicado um certo choque produzindo uma combustão rápida e completa. Os primeiros explosivos industriais constituíram-se predominantemente de nitroglicerina sensível, um agente oxidante e material carbonoso. Esta mistura era manufaturada na forma de cartuchos, visando a facilidade do manuseio e a colocação de carga. Muitos explosivos são ainda hoje fabricados segundo esta fórmula básica e empacotados sob a forma de cartuchos. Exemplos desta assertiva são as gelatinas referidas na [TAB. 4](#).

Anos mais tarde, descobriu-se que o fertilizante nitrato de amônio (NH_4NO_3) quando misturado com material carbonoso, pode ser detonado com apoio de um alto explosivo como iniciador (*primer*). Primeiramente usou-se carvão ativado como fonte de carbono, mas depois apercebeu-se que a mistura de 6% de óleo diesel em peso ao nitrato de amônio levava a um explosivo de muito boa qualidade, seguro e de fácil manuseio. Este procedimento estendeu-se rapidamente para as principais minerações do planeta.

É muito curioso o descobrimento do poder explosivo do nitrato de amônio. Em 1923, uma indústria química em Oppau, Alemanha, teve um problema com a súbita aglutinação de um produto cristalino que formou um bloco único de algumas dezenas de toneladas. Para desmontar o bloco alguém teve a (infeliz) idéia do uso de alguns cartuchos de dinamite. Feita a explosão o bloco realmente desagregou, mas também fez a mesma coisa com a metade da cidade de Oppau. Tratava-se do nitrato de amônio. Mesmo assim ninguém tomou conhecimento desta particularidade do fertilizante, aparentemente tão inofensivo.

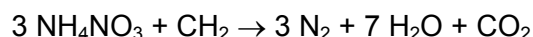
Em 1947, em Texas City, subitamente um navio explodiu no porto, destruindo parte da cidade. Novamente tratava-se de nitrato de amônio para fins agrícolas. Desta vez, contudo, o ruído da explosão foi suficiente para abalar os ouvidos dos interessados em estudar esses misteriosos cristais brancos e verificou-se, de lá para cá, o elevadíssimo interesse de usar o nitrato de amônio para o desmonte de rochas, constituindo-se uma das maiores revoluções na mineração.

A eficiência de um explosivo é medida pela correspondente velocidade de detonação, pela energia total produzida pela detonação e pela pressão que o explosivo detonado produz na superfície do furo. Em função da mistura do nitrato de amônia-óleo diesel (Amonium Nitrate-Fuel Oil, ANFO) ser muito barato o custo unitário deste explosivo é extremamente baixo. Uma comparação dos custos energéticos de alguns explosivos usados em minas canadenses (TAB. 4) é dado por [Dubnie](#) (1972).

TABELA 4 - Comparação dos custos energéticos de explosivos

Explosivo	Velocidade Pt/s (x1000)	Energia cal/g	Pressão no Furo (k bárias)	Custo \$/lb
Gelatina (602)	15,4	990	100	0,26
ANFO	13,5	890	13	0,05
Lama 7n7	18,5	890	85	0,18
Lama Metálica	15,0	1500	110	0,20

O nitrato de amônio vem sendo mais e mais usado no campo dos explosivos industriais, avançando na área que outrora era dominada pelas dinamites. Misturando-se nitrato de amônio com 5,5 a 5,6% de *fuel oil*, obtém-se a mistura considerada ótima, aduzindo à máxima potência na explosão e à mínima produção de gases, o que torna-se muito útil para túneis. Na prática, esta relação representa a quantidade de 17 litros de óleo diesel para 250 kg de nitrato. A reação química que representa a explosão é a seguinte:



As principais vantagens do nitrato de amônio são:

- menor tempo de carregamento;
- mesma potência que a dinamite (pouco menor, em alguns casos);
- melhor fragmentação da rocha;
- melhor compactação dos explosivos no furo;
- grande insensibilidade a choques, tanto antes quanto após a mistura com óleo diesel;
- redução global do custo de lavra em cerca de 5%;
- redução no preço do explosivo em cerca de 40 a 50%.

Uma desvantagem do uso de nitrato de amônio ou sua mistura com diesel prende-se à necessidade do uso de um *primer* (dinamite, força 60%), com 10% em peso do nitrato. Esta desvantagem pode todavia ser eliminada com o uso de espoletas especiais;

Outra desvantagem das misturas ANFO reporta-se a sua baixa resistência à água. Para isolar este explosivo da água e assim conseguir uma boa detonação foram desenvolvidos revestimentos plásticos a fim de estender as boas qualidades da mistura a terrenos úmidos. Todavia com o intuito de resolver completamente estes problemas foram desenvolvidas as lamas explosivas como as assinaladas na tabela acima. Estas lamas possuem excelente resistência à água, porém há um custo energético unitário mais elevado que o ANFO. Todavia suplantam o ANFO nos quesitos de energia liberada por grama de explosivo e pressão no furo. As lamas explosivas são misturas de nitrato de amônio e água na qual é

adicionada um agente sensibilizador como o TNT - trinitrotolueno. Os diversos compostos que se juntam para proporcionar a detonação na lama explosiva liberam elevadas quantidades de energia. As lamas explosivas são, portanto explosivos de alta densidade excepcionalmente adaptados a proporcionar uma boa quebra no pé do banco.

Os fabricantes de explosivos proporcionaram contínua melhoria às lamas explosivas incluindo a adição de pó metálico que aumenta a densidade explosiva e por consequência o conteúdo energético da lama. As lamas explosivas podem ser bombeadas diretamente nos furos a partir de caminhões misturadores. Nos casos de aplicações descontínuas, estes explosivos podem ser alimentados nos furos desde que isolados por plásticos ou na forma de cartuchos plásticos.

O termo razão de carregamento, refere-se à quantidade de explosivo por tonelada de rocha desmontada. Regra geral, quanto maior for a escala de produção, menor é a razão de carregamento.

Algumas minas de ferro no Quadrilátero Ferrífero utilizam-se de pequeníssimas razões de carregamento, face ao minério estar bastante intemperizado. Por outro lado, algumas hematitas compactas são muito difíceis de se furar e exigem altas razões de carregamento.

Os furos carregados são detonados por espoletas ligadas à cordel detonante, a forma mais segura de se lidar com explosivos. O cordel reúne todas as vantagens de segurança, as vantagens da detonação perfeita, pois abrange todo o furo e assim dá a garantia da ignição integral do explosivo estendido em uma coluna muito longa.

Furos individuais ou linhas de furos são eventualmente detonados com espoletas de retardo de milissegundos para evitar choques excessivos na detonação. Em termos de produção, é preferível detonar várias linhas de uma só vez, todavia em circunstâncias especiais, quando o minério não quebra bem é preferível detonar linhas isoladamente.

Nas minas onde um grande número de planos de fogo foram previamente testados, a detonação de várias linhas em conjunto, com retardo, costuma resultar na melhor fragmentação. O tamponamento (*stemming*) usado com freqüência nas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero é raramente omitido. Os furos são normalmente carregados com explosivos até uma certa distância da sua boca e a partir desta marca, tampona-se o mesmo com material arenoso grosseiro ou com os próprios fragmentos de perfuratriz, inertes.

Detonações secundárias são eventualmente levadas a cabo ao final do turno do trabalho e, de tempos em tempos, quando restam grandes matacões de minério. Eventualmente a fragmentação dessas grandes peças é feita com quebradores pneumáticos (*air ram*) ou *drop ball*.

- Custos de Perfuração

Os custos de perfuração são extremamente variáveis e dependem da escala de produção, da natureza do minério e estéril e a serem perfurados. Considerando-se minas de médio a grande porte, que empregam perfuratrizes rotativas, o custo da perfuração deve estar por volta dos US\$ 0,10 a US\$ 0,20 por tonelada de material desmontado.

O percentual dessa mão de obra, nesses casos, costuma estar por volta de 30% a 40% do total. Peças de reposição costumam pesar tanto no custo quanto na mão-de-obra. O restante corresponde a *bíts* de perfuração, combustíveis e lubrificantes.

- Custos de Perfuração

O fator que mais pesa no custo de desmonte é o preço dos explosivos, dos acessórios com as espoletas, cordéis detonantes, retardos etc. Os custos de desmonte costumam equivaler ou ultrapassar ligeiramente os custos de perfuração. Assim, os custos de desmonte de uma

típica mina de ferro do Quadrilátero Ferrífero deve estar por volta de US\$ 0,15 a US\$ 0,25 por tonelada de material detonado.

4.2.5 Carregamento

O carregamento do minério desmontado, geralmente em caminhões, é uma das operações unitárias mais básicas na mineração. Assim, o sistema de carga deve ser concebido e dimensionado com o maior cuidado possível. Uma vez que o carregamento encontra-se vinculado ao transporte, torna-se imprescindível proceder ao ajuste dessas duas operações associadas.

Os equipamentos que teoricamente podem realizar as operações de carregamento incluem escavadeiras, *draglines*, *clam shells*, carregadeiras frontais, retroescavadeiras e várias outras máquinas. Inobstante à variedade de equipamentos, a maioria das minas (no Brasil e no mundo) operam geralmente com dois tipos de máquinas: escavadeiras e carregadeiras frontais.

- Equipamentos

Foge ao escopo deste trabalho descer a detalhes de descrição, aplicação e dimensionamento desses equipamentos, remetendo ao leitor a excelentes textos de Engenharia de Minas, tais como o *Surface Mine* (PFLEIDER, 1968), o *SME Mining Engineering Handbook* (CUMMINS e GIVEN, 1978) ou ao Manual Prático de Escavação de Ricardo e Catalani (1978) *inter alia*.

A escavadeira (shovel) é uma máquina de escavação de terrenos, bastante antiga, tendo surgido, nos Estados Unidos, em meados do século XIX, na época movida a vapor.

Com o surgimento do motor diesel, as escavadeiras se tornaram mais compactas, mais potentes e com maior mobilidade, passando a desempenhar papel de destaque nas grandes obras de engenharia civil e de mineração.

As modernas escavadeiras são essencialmente uma lança montada numa estrutura tratora, articulada com uma haste, controlada por cabos de aço, por sua vez articulada com uma caçamba. A potência é suprida por um motor diesel, diesel-elétrico ou totalmente elétrico. As escavadeiras elétricas são geralmente preferidas nas minerações de maior porte, pois são máquinas robustas, duráveis e de custo operacional bastante baixo. Em determinadas circunstâncias, prefere-se, todavia, equipamentos totalmente a diesel, devido os mesmos serem mais flexíveis, deslocando-se com maior facilidade por toda a mina.

Regra geral, a escavadeira é um equipamento pouco flexível e projetado para trabalhar fixo numa frente de lavra, procedendo o carregamento dos caminhões que estacionam ao seu lado. Assim, devido a pouca flexibilidade, costuma-se selecionar / dimensionar mais de uma unidade escavadora, caso se tenha a necessidade de se misturar minérios de diferentes características.

Em muitas minas em que a rocha é pouco consistente, não necessitando de explosivos, escava-se diretamente a face da bancada, eventualmente afrouxada por explosivos ou mesmo sem preparação alguma.

Outro equipamento de carga, muito usado em minerações a céu aberto, é a pá-carregadeira ou simplesmente carregadeira, também chamada de carregadeira frontal (*front-end loader*). Reportam-se a pás mecânicas montadas sobre um conjunto de trator sobre rodas, capaz de se deslocar com facilidade por toda a mina. Estas máquinas são, todavia, mais frágeis do que as robustas escavadeiras. As carregadeiras são mais baratas do que as escavadeiras e sua vida útil também menor (v.g. 10.000 horas de trabalho contra cerca de 50.000 horas das escavadeiras). Nos tempos atuais, os fornecedores têm fabricado carregadeiras de vários tamanhos de tal forma a desempenhar diversos papéis nas minerações modernas. Muitas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero conjugam

carregadeiras com escavadeiras, conjugando a robustez e a longa vida primária com a flexibilidade e agilidade das últimas.

- Seleção de Equipamentos de Carga

Na seleção de equipamento de carga, a primeira consideração que se deve ter em conta é a escala de produção. Face a inflexibilidade das escavadeiras, o número mínimo de equipamentos que se costuma solicitar são dois: uma no minério e outra no estéril.

Geralmente adquire-se ainda uma terceira máquina para caso de quebra de uma das duas em operação. A decisão da escolha do tamanho do equipamento costuma, ainda, passar pela natureza do material desmontado. Provavelmente materiais mais difíceis de se escavar, necessitarão de equipamentos maiores e mais fortes.

No caso da mineração praticar a lavra seletiva, com múltiplas bancadas de pequena altura, a escolha deverá pender para um maior número de máquinas todavia de menor porte.

O desempenho das escavadeiras é ampliado com menos deslocamentos das máquinas e com adoção de um ângulo de giro mais baixo (que o ângulo normal de 90°).

A produção individual de uma escavadeira costuma ser dada pela conhecida fórmula:

$$\text{Produção (jc/h, in situ)} = \frac{3.600 \times C_d \times F \times A \times E \times S}{t_s}$$

onde a produção referida a densidade natural de minério *in situ* é função de :

C_d = capacidade da caçamba em jardas cúbicas

F = fator de enchimento da caçamba (geralmente, 0,85);

A = correção de ângulo de giro

E = eficiência (admitida)

S = setor de empolamento

t_s = tempo de ciclo em segundos.

Com base nessa equação e com apoio nos vários parâmetros, pode-se calcular o tamanho da máquina.

No caso de se considerar a carregadeira frontal, seu desempenho é calculado pela equação:

$$\text{Produção (jc/h, in situ)} = \frac{60 \times C_b \times F \times E}{t_m}, \quad \text{onde:}$$

C_b = capacidade da caçamba em jardas cúbicas

F = fator de enchimento

E = eficiência (tempo de utilização)

t_m = tempo de ciclo em minutos

Nos últimos tempos, pode-se dispor de softwares especializados, fáceis de se operar, que solicitam os vários parâmetros de operação e em contrapartida dimensionam a frota dos equipamentos principais, com extrema rapidez, facilidade e segurança.

Os custos de carregamento para minas de médio a grande porte costumam estar por volta de US\$ 0,07 a US\$ 0,15 por tonelada carregada.

4.2.6 Transporte

O transporte de minério estéril na mina é uma operação absolutamente básica e se incumbe de levar o minério e o estéril das frentes de lavra, respectivamente, para a planta do

processo (que começa com o sistema de britagem) para as pilhas de estéril. Sem entrar em maiores detalhes, este transporte é feito geralmente de duas maneiras, uma descontínua, através de caminhões fora de estrada e outra contínua por correias transportadoras.

Uma interessante opção moderna de mineração é colocar um britador móvel (semi-móvel ou removível) dentro da cava e fazer o transporte do minério fragmentado por transportador de correia. Isso leva a um custo de transporte significativamente baixo, porém reduz sobremaneira a flexibilidade do sistema produtivo. Consegue-se trabalhar muito bem com sistemas menos flexíveis porém às custas de um planejamento mineiro muito melhor elaborado.

Em se tratando de transporte por caminhão, costuma-se cuidar muito bem da fase de projeto para se reduzir a distância de transporte e se trabalhar com um melhor número de unidades. Sempre que possível trabalha-se com caminhões de maior porte para reduzir custo de operação. A grosso modo, pode-se dizer que caminhões fora de estrada, para as lavras de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero são pequenos quando a tonelagem de carga (*pay load*) não supera cerca de 30t, medidos até cerca de 70t e acima deste valor os caminhões são considerados grandes. As minas maiores operam com caminhões de até 170t de carga.

A carregadeira ou escavadeira deve ter porte suficiente para passar a altura do caminhão. Deve pois, haver um compromisso entre os tamanhos dos equipamentos de carga e transporte. Em condições 'normais' costuma-se escolher o porte destas máquinas, de sorte que o caminhão seja enchido com de 4 a 6 caçambadas da escavadeira/carregadeira.

Um cálculo expedito do número de caminhões envolvidos no transporte de minério é:

$$n_c = 1 + \frac{60 \times t_c \times A}{n \times t_s}, \quad \text{onde:}$$

t_c = tempo de ciclo do caminhão em minutos;

A = fator de correção do ângulo de giro da escavadeira;

n = número de passes da escavadeira para encher o caminhão;

t_s = ciclo da escavadeira em segundos

O transporte costuma ser o custo mais importante da mineração e é altamente dependente da distância e desnível incorrido. Em minas profundas, com longas distâncias de transporte, o custo dos mesmos costuma chegar e até ultrapassar a soma dos custos de perfuração, desmonte e carregamento.

4.2.7 Operações de Suporte e Sistemas Especializados

Este item trata, de passagem, de temas ligados a operações de suporte e sistemas especializados em minas a céu aberto.

- Drenagem

Nas minas a céu aberto há que se considerar o modelamento e drenagem das águas superficiais e subterrâneas.

No verão da região do Quadrilátero Ferrífero ocorre chuvas intensas, capazes de inundar as cavas profundas. Uma destas tormentas inundou o fundo da cava da Mina da Mutuca, em 1993, ultrapassando todas as barreiras de proteção da mina chegando a cobrir uma escavadeira de grande porte (PH 1900) que estava no fundo da cava. Existem diversos modelos hidrológicos para se dimensionar sistemas de proteção e prevenir-se contra estes acontecimentos. Em função destes modelos, as minerações dimensionam seus sistemas de bombeamento para extrair a água abruptamente acumulada na cava, em função das chuvas intensas.

Outro importante aspecto referente a água em mina, notadamente nas minas de ferro, refere-se a água subterrânea. Os minérios ricos de ferro, freqüentemente, encontram-se ligadas à dissolução de sílica e carbonato nos itabiritos originais. Esta dissolução deixa notáveis vazios na formação rochosa que são preenchidos por água. Como consequência deste processo, a Formação Ferrífera Cauê, *locus* do minério de ferro, tornou-se um notável aquífero. Caso as minas estejam situadas em terrenos mais altos desta formação não se tem água. Todavia, quando as minas se aprofundam, atingem o nível de água subterrânea tornando necessário rebaixar o nível d'água, para que se possa efetivamente produzir.

Este é um assunto de enorme importância tecnológica, bastante investigado por hidrogeólogos de minas, empresas especializadas em hidrologia, organismos ambientais e universidades. Estes profissionais adquiriram notável conhecimento do assunto e vêm procedendo ao rebaixamento do nível d'água com extremo sucesso balizados em modelos físicos (hidrogeológicos) e numéricos.

O fluxo da água subterrânea, em meio poroso, processa-se lentamente. O rebaixamento de nível d'água nas minas de ferro, para que efetivamente se possa desmontar o minério do sítios mais profundos, precisa ser executado de forma planejada e com bastante antecedência. Um conjunto de piezômetros instalados na mina, monitora o nível d'água. Nos projetos de rebaixamento do nível d'água, costuma-se manter o mesmo duas bancadas abaixo do fundo da cava (*bottom pit*), para assim operar a mina com segurança.

- Suprimento de Energia Elétrica

A introdução da energia elétrica na mineração ocorreu na virada do Século XIX para o Século XX, lembrando que este evento trouxe um grande impulso à mecanização. A mina de Morro Velho, situada à borda da APA Sul RMBH, foi uma das primeiras minas do mundo a adotar a eletricidade. Convém lembrar que foram no final do século XIX, as grandes conquistas de Thomas Alva Edison e Nikola Tesla, concernentes aos métodos de suprir continuamente as correntes elétricas para iluminar casas e mover as rodas da indústria. Ocorria na época a chamada *Guerra das Correntes*. Edison, cuja experiência vinha quase que exclusivamente de dínamos ou geradores que usavam corrente contínua (CC) advogava este tipo de transmissão elétrica, enquanto Tesla defendia a corrente alternada (CA) que acabou vingando.

A Mina de Morro Velho sofreu um grande desmoronamento em 1857 e dez anos mais tarde em 1867 ocorreu um incêndio no subsolo que durou quatro dias e provocou um novo desabamento com perda total da mina. Foram encetados novos esforços para recuperar a mina, abrindo dois poços A e B, permitindo, novamente, o acesso aos corpos mineralizados com a conseqüente retomada das atividades mineiras. Todavia, em 1886 novo desmoronamento obstruiu por completo as instalações subterrâneas e a Saint John D' El Rey enviou de Londres o Engenheiro George Chalmers, para tomar conta da situação e fechar de vez a mineração. No entanto, este engenheiro, de vontade inquebrantável, liderou as escavações de outros dois poços verticais C e D, de 700m de profundidade, concluídos em 1892, que serviram à mina até o encerramento de sua atividades no ano de 1999. Chalmers dirigiu a Morro Velho por 40 anos, sendo não só o responsável pela recuperação, mas também pela modernização e racionalização da produção da empresa.

Chalmers reviu todos os planos mineiros e, contra a opinião da maioria dos *experts* da época, decidiu aprofundar a mina, investindo em ventilação, refrigeração e na construção de um linha de estrada de ferro elétrica. Trata-se da primeira ferrovia elétrica brasileira que ligou a mina de Morro Velho à estação de Raposos, dando solução ao problema de transporte anteriormente feito em lombo de animal e carro de boi.

Em relatórios feitos à diretoria, Chalmers defendia arduamente a eletrificação da mina. Ao sul de Nova Lima (em área da APA Sul RMBH) fica uma região banhada pelo Rio das Velhas e seus afluentes, o Ribeirão dos Cristais, o Ribeirão dos Macacos e o Rio do Peixe,

onde a companhia adquiriu uma área para o aproveitamento hidrelétrico, que asseguraria o futuro da mineração. No entanto, a diretoria recusou a proposta de Chalmers. Como resposta, Chalmers comunicou que formaria uma nova companhia, sem nenhuma ligação com a Saint John D' El Rey para construir as usinas que forneceriam a eletricidade para a mina. Convidou a diretoria londrina a declarar a potência de que necessitaria e pediu que fosse feito um contrato entre as duas empresas, determinando os termos do fornecimento de energia elétrica por um certo número de anos. Observando a firme decisão do insigne engenheiro, a diretoria mudou de idéia e decidiu investir nos planos do engenheiro.

Foi assim iniciada a implementação do Grupo Elétrico do Rio do Peixe, aproveitando as águas do mencionado rio e dos lagos represados em Miguelão, Codorna e Lagoa Grande, sendo construídas seis usinas geradoras A, B, C, D, E e F, inauguradas em 1904, 1905, 1906, 1912, 1919 e 1933, respectivamente, perfazendo a capacidade conjunta de 56 MWh. Estas obras integraram-se à paisagem regional e muitos habitantes de Nova Lima, Belo Horizonte e arredores pensam que estes corpos d'água são naturais.

Nos dias atuais, a eletricidade é amplamente usada para energizar minas e instalações de processamento de mineral em toda a região do Quadrilátero Ferrífero e APA Sul RMBH. A energia elétrica é hoje majormente comprada de concessionária local, a Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG.

Um esquema típico de distribuição de energia elétrica em um hipotético distrito mineiro se apresenta na [FIG. 31](#).

- Suprimentos de Água Industrial e Água Potável

As minerações normalmente requerem dois tipos de água: água industrial e água potável.

Necessita-se de água industrial principalmente para realizar o processamento de minério que geralmente é levado a cabo por via úmida. Regra geral, uma instalação de tratamento de minérios opera com cerca de 25% de minério e de 75% de água. Assim, uma planta de capacidade de 1.000 toneladas de alimentação, por hora, teoricamente opera 3.000 m³ de água neste período. Acontece que a instalação não descarta toda a água que usa. Pelo contrário, recupera a maior parte dela através de espessadores e de barragens de rejeito, numa proporção que poderia estar por volta de 70%. Se a planta recupera 70% da água do processo, necessita-se de 30% de água nova que no caso hipotético em tela equivale a 30% de 3.000 m³, ou seja, 900 m³/h. A regra prática que costuma se usar no início de projetos é alocar tantos metros cúbicos d'água quantas forem as toneladas de minério processadas.

Naturalmente a matéria exposta aqui se refere a um cálculo bastante preliminar e expedito, pois nos estudos de viabilidade do projetos básicos e operações mineiros os balanços d'água devem ser feitos com cuidado e riquezas de detalhes.

Usa-se ainda água nas minerações para molhar as estradas e minérios estocados ao ar livre, evitando poeira, para lavagem de equipamentos etc.

Para saciar a sede dos trabalhadores, bem como para uso nos vestiários, necessita-se de água de alta qualidade potável. Esta água costuma vir da captação de água limpa da ETA – Estação de Tratamento de Água, sendo que a maioria das minerações adquirem água mineral em grandes frascos no mercado para bem servir seus trabalhadores.

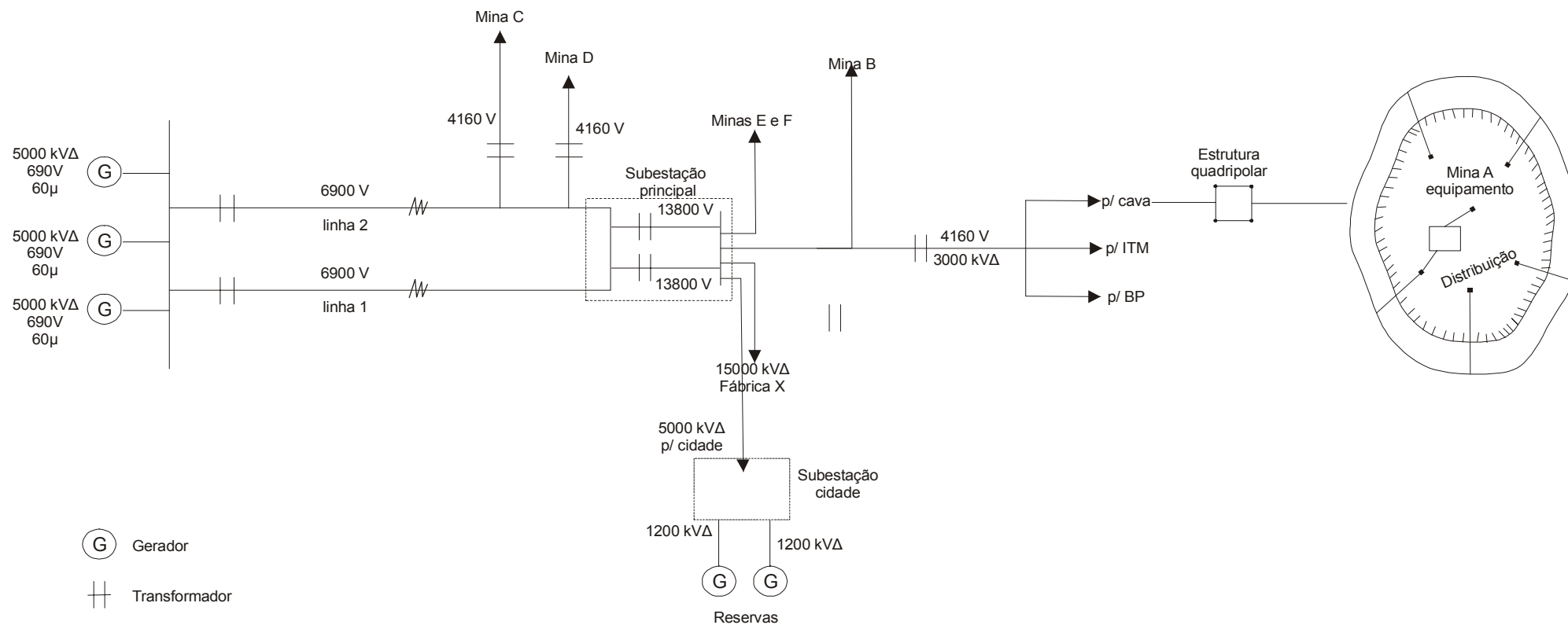


FIGURA 31 - Distribuição de energia elétrica.

- Taludes da Mina e seus Monitoramentos

A lavra de minérios, tanto em minas a céu aberto quanto subterrâneas, altera o estado de tensão nas rochas, podendo induzir instabilidades com deslocamentos de massas rochosas que podem levar a grandes prejuízos, incluindo perdas de vidas.

Uma estrutura é estável quando os esforços resistentes igualam ou superam os esforços solicitantes. Caso contrário, quando as solicitações mecânicas superam as resistências, a estrutura entra em colapso.

Entende-se por fator de segurança a relação entre os esforços resistentes e os esforços solicitantes:

$$\text{Fator de segurança (FS)} = \frac{\text{Esforços Resistentes}}{\text{Esforços Solicitantes}}$$

Na medida destes esforços (notadamente os esforços resistentes), sempre ocorrem erros e imprecisões, e, assim, para não se incorrer em riscos indesejados, adota-se nos cálculos de estabilidade fatores significativamente superiores a unidade. Quão superiores? Devem ser estudados caso a caso!

Particularizando o caso de estabilidade das aberturas para o caso de taludes a céu aberto, pois na região da APA Sul RMBH, não existe nenhuma operação subterrânea de maior significado, reportando-se ao denominado *Dilema do Projetista*, onde o mesmo é instado a projetar o talude o *mais em pé* possível, porém garantindo um fator de segurança adequado. Se o projetista usar um fator de segurança demasiadamente alto, ele estará mais que seguro, porém isto implica em contrapartida em custos desnecessários. Por outro lado, fatores de segurança muito baixos (mesmo que acima de 1,00) representavam riscos de colapso estrutural.

Notadamente, para explorações subterrâneas, os textos clássicos (mais antigos) de Engenharia de Minas (v.g. PEELE, 1957) recomendam a estabilidade das aberturas no intervalo de tempo da vida das minas. Para operações a céu aberto, considera-se todavia hoje o melhor talude aquele que permanece estável, mesmo após o término de vida da mina. No contexto moderno, mineração é uma ocupação temporária dos terrenos onde se encontra o depósito mineral. Fechada a mina, os seus terrenos devem servir para outros propósitos e não é nada desejável a ocupação de terrenos instáveis, perigosos.

O fator de segurança das paredes em minas a céu aberto tem a ver com o ângulo de taludes (*overall slope angle*) e com relação estéril minério. Valem as relações abaixo:

- *Menor fator de segurança* \Leftrightarrow *maior ângulo de talude* \Leftrightarrow *menor relação estéril minério* \Leftrightarrow *menores custos* \Leftrightarrow *maiores riscos de colapso*
- *Maior fator de segurança* \Leftrightarrow *menor ângulo de talude* \Leftrightarrow *maior relação estéril minério* \Leftrightarrow *maiores custos* \Leftrightarrow *menores riscos de colapso*

Para que o leitor tenha uma idéia do que representa a variação do ângulo de talude, estime-se (FRANCA, 2003) que uma variação de 5° numa mina das dimensões de Águas Claras, implicaria na remoção de 54 milhões de estéril, o que corresponderia ao tamanho da pilha da Grota 0, a maior pilha da Mina da Mutuca, espaço eventualmente indisponível.

Caso o custo de remoção, seja cotado a US\$0,60/t, tem-se o custo adicional desta operação em 54 Mt \times 0,60 US\$/t equivalente a US\$ 32 milhões de dólares!

Uma metodologia básica para se projetar taludes das minas a céu aberto é dado pela FIG. 32 devido a Hoek e Bray (1973), modificada.

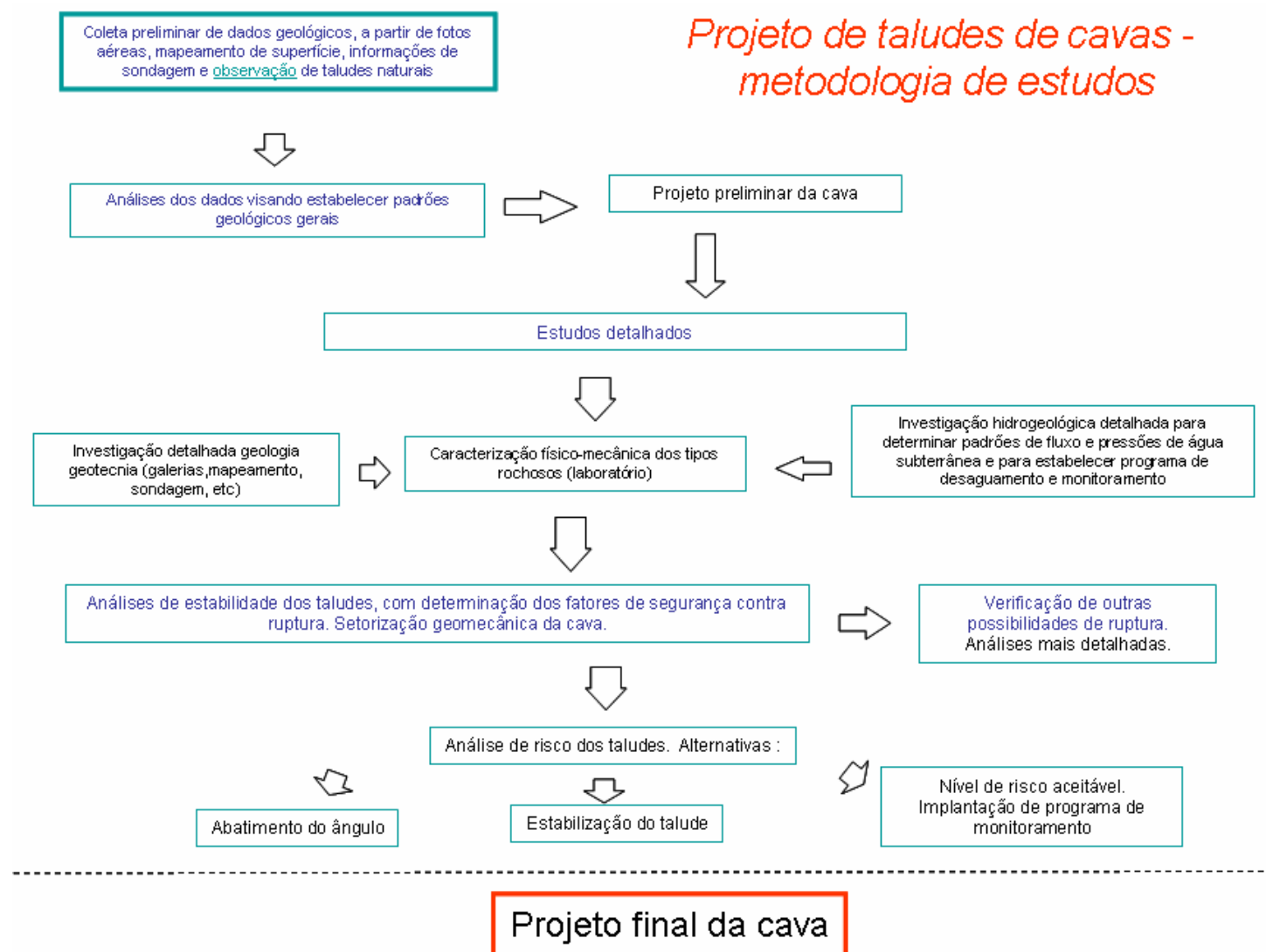


FIGURA 32 – Metodologia para projetar taludes das minas a céu aberto (HOEK e BRAY, 1993)

Na prática, o problema é muito mais complexo do que se apresenta, quando se observa rapidamente a figura em questão. Os fatores condicionantes de rupturas de taludes em minas a céu aberto, entroncam em importantes investigações de:

- a) definições de tensões virgens e induzidas no maciço rochoso;
- b) definição com grau suficiente de detalhe da estrutura geológica;
- c) estabelecimento dos fatores geomecânicos significativos;
- d) resistência de maciços rochosos;
- e) influência da água na estabilidade;
- f) efeito das detonações;
- g) modelos e mecanismos de rupturas;
- h) cinemáticas de taludes rochosos, etc.

As principais minerações de APA Sul RMBH (e também do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais) normalmente estão estruturadas em departamentos de geotecnia para encaminhar este tipo de problema. Em função da elevada responsabilidade, não permitindo falhas maiores, estas empresas costumam contar ainda com consultorias permanentes, tanto em nível nacional quanto em nível internacional.

A literatura especializada detalha vários procedimentos, uns mais outros menos rigorosos, observando o projeto de talude de minas a céu aberto, entre os mesmos:

- métodos de análise de estabilidade de taludes.
 - métodos empíricos;
 - modelos físicos;
 - análise por equilíbrio limite;
 - análise por métodos numéricos;
 - análise por métodos probabilistas.
- Parâmetros Geométricos
- Projeto de cava final da mina considerada.

Há que se ressaltar que o projeto do talude de uma mineração não é uma ciência exata. Mesmo os projetos mais cuidadosos sempre apresentam pequenos desvios dos parâmetros previstos. Os taludes das minerações em operação evoluem com o tempo, tornando-se necessário seu monitoramento. Assim estes taludes são instrumentadas, e os equipamentos básicos para este propósito são:

- Superfície
 - Marcos e redes topográficas;
 - Fotogrametria terrestre;
 - GPS – Global Positioning System;
 - Extensômetro de cabo;
 - Monitoramento de trincas.
- Subsuperfície
 - Inclinômetros;
 - Extensômetros;
 - TDR – Time Domain Reflectometry.
- Águas subterrâneas
 - Piezômetros.

- Pilhas de Estéril

Ao lado do minério (agregado mineral de valor econômico), geralmente enviado à instalação de tratamento de minérios, a mina produz também estéril (rochas inúteis) que até algumas décadas atrás era basculado em pontas de aterro, nas encostas circundantes às minerações. Na cultura da época, não havia maiores preocupações tanto de ordem de geotecnia quanto de ordem ambiental. Estes depósitos eram inclusive denominados botaforas e eram simplesmente feitos sem quaisquer preocupações quanto às características físicas dos materiais do aterro, não se tinha cuidado com respeito a sua fundação, bem como, com a estabilidade da estrutura.

A expansão crescente da produção mineira, com o conseqüente aumento do volume de estéril, exigiu o aprimoramento dos métodos empregados para se dispor (disposição = deposição controlada) com ênfase no tratamento das fundações, garantias da estabilidade da estrutura, drenagem das águas pluviais e fluviais e minimização dos impactos no meio ambiente.

Esta mudança de mentalidade é bem apercebida pelo lançamento, por parte do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), na segunda metade da década de 80, das Normas Regulamentares de Mineração, onde assinala que os estéreis depositados sem controle podem causar os seguintes problemas:

- Problemas gerais:
 - ocupação física desordenada de extensas áreas;
 - aumento da acidez do solo;
 - inibição do crescimento de diversas espécies vegetais;
 - favorecimento da aridez do terreno;
 - poluição das águas superficiais e subterrâneas;
 - acidentes ecológicos decorrentes do rompimento de pilhas, precariamente construídas, sem os necessários estudos geológicos, geotécnicos e ambientais.
- Problemas particulares:
 - Efluentes ácidos caso a pilha tenha altos teores de sulfeto;
 - Radiatividade no caso de manifestações uraníferas;
 - Substâncias tóxicas oriundas de extração do ouro (v.g. cianeto, resíduos de arsênico, etc);
 - Salmouras da indústria de potássio, etc.

Isto posto, o DNPM e as agências estaduais do meio ambiente vêm forçando melhorias técnicas, com as seguintes direções:

- Majorar a recuperação dos minérios, evitando desperdícios que geralmente resultem em poluição;
- Garantir a produção de alta qualidade e bem controlada, evitando interrupções e acidentes na produção;
- Aprimorar as técnicas de pesquisa, lavra de minas, processamento mineral, pois minerações com tecnologias mais avançadas são mais seguras sob todos os aspectos (econômicos, ambientais, etc);
- Proteção do trabalhador quanto a saúde e acidentes do trabalho;
- Cumprimento rigoroso de legislação vigente;
- Proteção do entorno da mineração quanto a danos necessários ligados à poluição, abatimento de terrenos, erosões, interferências com outras atividades econômicas (agricultura, pecuária, etc).

- Aumento do nível de responsabilidade do período de nível técnico e gerencial da empresa, etc.

Apercebe-se claramente que, com o passar do tempo, com mudança de responsabilidade e estabelecimento de normas específicas, vieram sensíveis mudanças nas disposições de estéreis.

As empresas de mineração entendem hoje que a disposição de estéril deve ser feita com todo o cuidado, envolvendo geralmente os seguintes passos:

- Estudo geral: abrangendo a escolha das áreas mais favoráveis à disposição dos estéreis;
- Investigação de campo e laboratório: envolvendo mapeamento geológico e geotécnico, amostragem de solos, rochas estéreis, determinação de parâmetros de resistência e capacidade de suporte, etc;
- Projeto básico e detalhado da estrutura;
- Implementação do projeto: envolvendo desmatamento, drenagem da fundação, deposição controlada dos estéreis, compactação, revegetação da pilha quando terminada, monitoramento, etc.

4.3 Processamento Mineral

Os minerais fazem parte dos recursos naturais do país, assim como as terras para a agricultura, as águas (rios, lagos, água subterrânea), biodiversidade (flora e fauna) etc. Os estudos geológicos e hidrogeológicos básicos de um país ou de uma região são tradicionalmente realizados pelo seu serviço geológico, que os disponibiliza ao público. No Brasil, esta missão está ao encargo da CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Uma vez que os minerais de interesse econômico encontram-se distribuídos de maneira escassa na crosta terrestre, cabe às empresas de mineração, com base nas informações geológicas básicas, desenvolverem a pertinente pesquisa mineral em áreas selecionadas de maior potencial econômico. Avaliados os recursos minerais *in situ* e quantificadas as reservas lavráveis, tem-se comprovado o jazimento mineral de valor econômico.

A avaliação apropriada de um depósito mineral é um processo bastante complexo. Comumente é feita por uma equipe técnica multidisciplinar composta de geólogos de exploração, engenheiro de minas, engenheiro de processamento mineral/metalurgista, economista etc. O engenheiro de processo mineral/metalurgista desempenha um papel chave nesta temática pois é ele que irá responder a questão: Este minério poderá ser processado economicamente?

Adicionalmente a este julgamento, é esse profissional que encaminhará o desenvolvimento do processo desde o início da descoberta do depósito mineral até o estabelecimento das seqüências de operações unitárias necessárias (v.g. britagem, moagem, estocagens intermediárias, concentração do mineral de valor econômico, espessamento, filtragem etc.), seleção e dimensionamento dos equipamentos, balanços de massas, investimentos e custos operacionais etc.

Dada a complexidade da disciplina, apresenta-se em seqüência, uma coletânea de termos e conceitos mais usados na indústria de processamento/metalurgia extrativa.

4.3.1 Objetivos do Tratamento de Minérios, Operações Unitárias e Extração Metalúrgica

Raramente as espécies minerais se encontram puras na natureza. Algumas exceções conhecidas são alguns calcários, dolomito e a hematita. A maioria dos minerais encontram-se num estado misturado que carecem de tratamento v.g. os diamantes encontrados nas cascalheiras com teores da ordem de ppb - partes por bilhão e por isso necessitam de separação do mineral de ganga. O mesmo acontece com o ouro, em massa rochosa que

ocorre em ppm – partes por milhão. Já o cobre ocorre na base de percentual em massa (v.g. 0,5% Cu) e ferro numa proporção mais alta (v.g. 58% Fe).

Seja um minério composto de duas espécies minerais A e B. Imagine que se tenha fragmentado este minério e que os seus minerais constituintes estejam totalmente liberados, sendo A o mineral útil e B o mineral de ganga. O que se deseja é separar em um produto comercial todos os fragmentos do mineral A e noutro produto todas as partículas de B. Na prática esta separação não é perfeita e costuma-se obter:

- um produto concentrado de mineral A, com o mínimo de contaminação do mineral de ganga B;
- um produto denominado rejeito, constituído essencialmente pelos minerais ou ganga B, costumando carregar todavia algumas partículas do mineral útil;

Diferentes propriedades físicas desses dois minerais facilitam esta separação, considera-se a seguir algumas:

- Catação: reporta-se a separação de diferentes espécies minerais mediante a escolha através de diferença de cor, forma ou textura. Este processo é usado em algumas minas como a mina da Magnesita (mineral útil = magnesita) em Brumado (BA) e da Lamil (mineral útil = agalmatolito) em Pará de Minas (MG), onde os minérios são passados em uma correia transportadora larga e lenta e operários fazem a seleção pela cor, do material de valor econômico do refugo.
- Separação magnética: espécies de alta susceptibilidade magnética, como a magnetita, podem ser separados dos demais minerais por um campo magnético que retém essas partículas. Com este expediente a Bunge Fertilizantes em Cajati (SP), retira a magnetita de uma massa de minério de fosfato fragmentado.
- Separações em meio denso: o carvão (densidades 1,5) é separado de suas impurezas (densidade 2,7) através da aplicação de um líquido de densidade intermediária v.g. 1,8. Neste processo o carvão flutua enquanto que as impurezas (xistos) afundam. Este princípio é aplicado no beneficiamento de carvões nos lavadores de Capivari (SC), Charqueadas e São Jerônimo (RS). Este mesmo princípio é aplicável à separação de diamantes (densidade 3,2) de sua ganga (densidade 2,7) em Nortelândia (MT).
- Flotação (ou flutuação por espumas): este processo é, com certeza, o mais importante sob o ponto de vista técnico-econômico pois corresponde ao processo ligado à maior tonelagem de concentrados produzida no planeta. Caso não existisse o processo de flotação estaríamos numa situação muito delicada no que diz respeito ao adequado suprimento de minerais. No caso da separação por flotação, a propriedade usada refere-se à maior ou menor capacidade das partículas minerais se prenderem ou não a bolhas de ar ascendentes passantes em uma polpa mineralizada. Estas bolhas ascendentes capturam mais uma espécie mineral do que outra, promovendo assim a concentração mineral.

São inúmeros e diversificados os minerais concentrados por flotação. Um exemplo bastante simples corresponde ao mineral grafita de sua ganga silicatada. A grafita, mineral naturalmente untuoso ao tato e mão molhável (hidrofóbico) adere preferencialmente em bolhas de ar ascendentes. As partículas de ganga não aderem às bolhas e assim é procedida a separação. No caso de minério de ferro onde o mineral útil é a hematita e a ganga essencialmente quartzo, costuma-se criar condições físico-químicas de tal forma a tornar o quartzo não molhável e coletado pelas bolhas de ar, enquanto que as partículas de hematita tomam rumo oposto.

No caso ouro na APA Sul RMBH, convém observar que a principal operação onde ele ocorre economicamente, reporta-se a Córrego do Sítio, no município de Caeté. Trata-se de uma formação ferrífera bandada, profundamente intemperizada contendo minério oxidado, pobre, com partículas de ouro finamente subdivididas. O processamento deste minério é

essencialmente hidrometalúrgico. Ataca-se o minério empilhado com uma solução diluída de cianeto e o ouro é dissolvido passando à fase líquida. Esta solução contendo ouro é colocada em contacto com carvão ativado e o ouro é adsorvido nos poros do carvão. O carvão contendo ouro é posto em contacto com solução aquosa aquecida que retira o ouro do carvão, na forma de uma solução limpa. Finalmente esta solução vai para a eletrólise onde o ouro é recuperado no anodo.

4.4 Impactos da Mineração no Meio Ambiente

A mineração, secundada pela agricultura, é a mais antiga atividade econômica praticada pela humanidade. A dependência das sociedades primitivas de produtos minerais é ilustrada pelos nomes dessas épocas: Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, indicando inclusive a complexação da sociedade em função das atividades minerárias. Para se produzir um simples machado de quartzo (*flint*) torna-se necessário pelo menos se localizar um jazimento que possua tal mineral; há também que se saber retirar do depósito um fragmento de rocha de qualidade adequada e depois ainda fabricar a ferramenta. Na Idade do Bronze, a tecnologia era mais esmerada, mas os conceitos usados para se chegar aos utensílios finais eram os mesmos. Segundo vários autores (DIAMOND, 2004), o domínio da tecnologia do ferro exerceu papel preponderante nas conquistas, no curso da história e nos destinos dos povos. O aço foi um dos instrumentos que permitiu aos conquistadores espanhóis submeter os povos no novo continente ao rei da Espanha.

Assim, através dos séculos, a sociedade humana vem usando minerais que se fazem notar por duas características:

- a) Uso crescente de minerais tanto em termos de quantidade como em termos de variedade, cada vez num contexto mais amplo.
- b) Crescente sofisticação nos métodos de localizar (prospectar), lavrar, processar minérios e extrair dos mesmos os metais (ou substâncias) desejadas.

Em função dessas tendências, vêm as conseqüências listadas a seguir:

- a) Necessidade constante de desenvolvimento de novas tecnologias nas áreas de geologia, mineração, processamento mineral, metalurgia extrativa etc. Essa necessidade de desenvolvimento se passa em nível de empresas de mineração, prestadoras de serviços, consultoras projetistas, fornecedores de equipamentos, universidades, organismos governamentais etc.
- b) A mineração possui rigidez locacional, isto é, minérios são encontrados onde os processos geológicos o geraram. Exemplos de velhos distritos minerais são o distrito metálico de Harz, na Alemanha, o carvão de Newcastle na Inglaterra, os sulfetos polimetálicos da Andaluzia e Alentejo na Península Ibérica etc. Nas Américas são famosas as minas de prata de Potosi na Bolívia e de Pachuca, no México, sendo que, esta última, deu ensejo ao servilhano Batolomé de Medina para desenvolver seu processo de amalgamação de minérios de prata. Novos distritos mineiros são encontrados nos quatro cantos do mundo, destacando os países que compunham a antiga União Soviética, Estados Unidos, Canadá, Austrália, África do Sul, Chile, Peru, Brasil, etc.
- c) Em função da rigidez locacional dos depósitos minerais e em contraposição a demanda espalhada dos minérios, tem-se a contínua comercialização dos bens minerais desde a época pré-histórica até os dias atuais. Mais do que qualquer outro bem, os minerais contribuem para colocar em contato diferentes povos: os fenícios buscaram o cobre nas jazidas de Tharsis (Andaluzia, Espanha), os romanos expandiram os seus domínios até as Ilhas Britânicas em busca do estanho da Cornuália etc.

A posse sobre minerais catalisou inúmeras guerras de tal maneira a levar o poeta romano Ovídio se referir à mineração como uma atividade que provoca ganância e traz guerra. Segundo o autor o ouro (metal da ganância) é ainda mais perigoso do que o ferro (metal da guerra). Disputas por minério, pela via armada, foram comuns no passado e infelizmente ainda ocorrem na maior parte do mundo e inclusive no Brasil.

- d) A forte pressão para se encontrar novos depósitos minerais e assim produzir mais em função do aumento populacional, para melhorar o nível de vida nos países menos desenvolvidos como também da necessidade de uma maior variedade minerais tem levado a reflexão de que estes recursos são limitados e assim há que se explorá-los e exportá-los com bastante sabedoria.
- e) A humanidade carece de minerais para sobreviver e a produção mineral e a sua transformação, indubitavelmente, trazem riquezas. Para sustentar essa assertiva basta lembrar que a Revolução Industrial na Inglaterra, no início do século XIX, foi conspicuamente suportada pela mineração de carvão daquele país, que supriu toda a energia necessária para movimentar as máquinas da indústria. A pujante indústria norte-americana foi montada a partir da feliz coincidência da proximidade do minério de ferro do Mesabi Range (região dos Grandes Lagos) e do carvão dos Apalaches. Não resta dúvida de que a cultura do Estado de Minas Gerais e sua riqueza estão assentadas no binômio ouro e ferro. Não fosse o ouro, não teríamos as belíssimas cidades históricas Ouro Preto, Mariana, Congonhas etc. É hoje o ferro que suporta a pujante indústria mineira.

Inobstante os benefícios que a mineração pode trazer, há que se considerar que a lavra corresponde a retirada do minério do local onde se formou e se encontra a jazida e isto inexoravelmente representa um impacto no meio ambiente. É, pois, muito importante entender todas as ciências e tecnologias envolvidas na mineração e seu processamento, pois os projetos de mineração devem ser concebidos para maximizar os efeitos positivos desta atividade econômica e, se possível eliminar ou minimizar os efeitos negativos decorrentes da exploração mineral. Não há como negar que a mineração impacta (positiva e/ou negativamente) os meios físico, biológico e antrópicos e estes impactos devem ser muito bem quantificados e controlados.

4.4.1 Amplitude e Importância dos Problemas Ambientais na Mineração

A mineração (*strictu sensu*) pode ser definida como a remoção de minérios/minerais industriais da crosta terrestre para uso e serviço do homem. Como corolário desta assertiva segue que toda e qualquer atividade mineira causa alguma mudança no ambiente natural o que é referido como impacto ambiental. A extensão deste impacto pode ser quase que imperceptível até altamente obstrutiva, dependendo do minério/mineral industrial explotado, do método de lavra e processamento mineral praticados, bem como as características da mina e seus arredores.

Para entender e contornar o impacto de mineração no meio ambiente, a seqüência lógica de atuar no problema seria:

- a) Avaliar a natureza e a extensão dos impactos mensurando-os segundo padrões racionais e consistentes;
- b) Estabelecer padrões e critérios aceitáveis passíveis de comparações;
- c) Comparar a medida (ou previsões) dos impactos com os padrões relevantes;
- d) Implementar ações capazes de anular os impactos ou reduzi-los dentro de padrões aceitáveis.

A implementação dos passos (a) até (d), visando conhecer e tomar ações para anular ou atenuar os impactos não é trivial e entronca numa série de dificuldades, como:

- Frequentemente, torna-se muito difícil, senão impossível, expressar o impacto ambiental através de um número. Muitas perdas são de ordem puramente qualitativa, impossíveis de serem quantificadas.
- Existem poucos critérios definidos e universalmente aceitos para interpretar os problemas relacionados a impactos ambientais. Fenômenos como o impacto visual, de natureza puramente estética, são praticamente impossíveis de serem medidos. Enquanto, na maioria das vezes, o impacto visual da mineração deprecia a paisagem, existem minas como Bingham Canyon (Utah) e Kiruna (Suécia) que se constituem em pontos turísticos. Em outros casos, como aqueles relacionados à qualidade da água potável, existem uma plethora de métodos, muitas vezes antagônicos, para mensurar tal propriedade.
- Frequentemente, não se dispõe de meios para minimizar o impacto da mineração no meio ambiente e o que se faz é levar o mesmo a um nível muito baixo, imperceptível. Caso, inobstante a todos os esforços encetados, não se consiga anular o impacto ambiental e este se mostra de forma ostensiva, a decisão é conviver com o mesmo ou, alternativamente, não se permitir a exploração do depósito mineral.

Em todos os casos, há que se pesar todos os aspectos positivos e negativos da mineração e se tomar a decisão. Algumas pessoas se declaram abertamente contra mineração. Para serem coerentes, estas pessoas teriam que não consumir minerais e praticamente voltar aos primórdios da história, vivendo como caçadores e coletores, o que é um total despropósito.

Os impactos da mineração no meio ambiente diminuem com a distância. Consequentemente, as minerações afetam mais fortemente quem vive nas suas vizinhanças. Destarte, aqueles que mais estão expostos aos riscos ambientais da mineração são, teoricamente, os próprios empregados da empresa. A mineração deve, pois prestar extrema atenção à questão da saúde e dos riscos de seus trabalhadores.

Em conclusão, há que se levar em conta que a exploração de minerais leva sempre a impactos nos meios físico (terra, água e ar), biológico (vegetação, fauna) e antrópico, sendo que este tema é reconhecido de longa data, porém vem sendo encarado com maior profundidade apenas nas últimas décadas (praticamente a partir dos anos 70). Tem se procurado entender o fenômeno, quantificá-lo sempre que possível e em função do conhecimento gerado propor as medidas mitigadoras cabíveis. A razão do aumento da importância do impacto da mineração no meio ambiente nos últimos tempos é decorrência direta da elevada demanda da sociedade por minerais. Para que o leitor tenha uma idéia do crescimento da mineração neste último século, basta lembrar que a maior mina existente no início do século XX era a Parys Mountain, ao norte do País de Gales, produzindo pouco mais que 9.000 toneladas anuais de minério de cobre com um teor de 6% Cu. Por volta dos anos 70, algumas minas em várias partes do mundo, como Bingham Canyon (USA), Chuquicamata (Chile), Fortuna (Alemanha) chegaram a movimentar cerca de 300 mil toneladas de rocha por dia.

O grande desafio da mineração organizada em todo mundo é suprir os minerais que a civilização requer e necessita, minimizando os impactos desta atividade no meio ambiente. O setor mineral entende este problema e aceita o desafio de enfrentá-lo.

4.4.2 Principais Impactos de Mineração ao Meio Ambiente e Formas de Mitigá-los

A natureza e a extensão de problemas ambientais decorrentes das atividades mineiras são bastante complexas e amplas em escopo, assim como as técnicas de mitigá-los. Apresenta-se a seguir, de uma maneira muito expedita, os principais impactos da mineração no meio

ambiente e a forma de mitigá-los, sem a intenção de exaurir o tema. Remete-se ao leitor a literatura especializada (v.g. [DOWN e STOCKS](#), 1989, [MARCUS](#), 1997, *inter alia*) caso queira se aprofundar nas importantes questões.

4.4.2.1 Impacto Visual

A mineração normalmente acarreta um impacto visual negativo. O público, em geral, na maioria dos países, quer desenvolvidos quer em desenvolvimento, sente-se visualmente incomodado com as exposições de escavações mineiras, pilhas de estéril, instalações de tratamento de minérios etc.

É muito difícil discutir os impactos visuais de trabalhos de mineração, pois tratam-se de questões de ordem estética, subjetivas e muito difíceis de serem quantificadas. Em outras palavras, é muito difícil definir o que é visualmente aceitável: a Europa tende a valorizar as paisagens à medida que se aproxima dos padrões bucólicos do século XVIII, envolvendo cenários românticos, colinas verdejantes cobertas por matas secundárias ou artificiais etc. Nas Américas, privilegia-se as paisagens mais selvagens, coberturas de mata nativa, montanhas intocadas, corpos d'água límpidos etc.

Eventualmente, antigos trabalhos mineiros e minerações em operação podem inclusive apresentar atrativos turísticos. Assim, as antigas minas de ouro de Passagem de Mariana e de Chico Rei são importantes atrativos turísticos-culturais na região de Mariana e Ouro Preto, respectivamente. A mina de Bingham Canyon, em Utah, é o segundo ponto turístico em importância daquele estado norte-americano, reconhecida como "a maior escavação do homem do planeta" e referida pela população "como uma obra do ser humano que pode ser vista da Lua".

No tocante a impactos visuais provocados pela mineração, cabem discussões específicas sobre três tópicos: escavações de superfície, deposição de estéreis e instalações de tratamentos de minério/metalurgia extrativa.

- Escavações de superfície

O impacto visual das escavações de superfície, eventualmente, não é diretamente ligado ao tamanho das mesmas. O relacionamento é mais diretamente associado às formas de terrenos, aos contrastes de cores dessas aberturas com o padrão de vegetação do local etc. (FOTOS 7 a 10).

As exposições de rochas frescas e solos criadas pelas minerações são normalmente bastante visíveis. Na maioria das vezes tem-se o nítido contraste rocha e solo contra a vegetação mais escura. Em regiões tropicais, tem-se o contato dos solos avermelhados devido a presença de óxido de ferro contra a vegetação verde. Nos terrenos onde afloram muitas rochas, escavações mineiras não se destacam da paisagem regional e assim o impacto visual é minorado. O impacto visual torna-se proeminente quando se desmontam as cumeeiras das serras.



FOTO 7 – Mina do Barreiro (Nióbio), Araxá, MG.



FOTO 8 – Mina Corriola (Níquel e Cobalto), Niquelândia, GO.



FOTO 9 - Mina de Casa de Pedra (Ferro), Congonhas, MG.



FOTO 10 - Mina N4, Carajás (Ferro), Parauapebas, PA.

- Depósitos de estéril

Até há pouco tempo, a maioria das minerações, notadamente as de menor porte, tinham pouca atenção com a deposição de estéreis. Normalmente, o estéril da mina era simplesmente lançado por caminhões basculantes em pontas de aterros. Esse material jogado sem maiores cuidados, denominado bota-fora, causava muito problema devido a instabilidades, partículas fugidias, gerando poluição ambiental e impondo riscos de desabamentos.

Na atualidade não mais se aceita esta precária situação. Diz-se que o estéril deve ser disposto, entendendo-se por disposição a deposição organizada. Os estéreis são, pois empilhados seguindo um projeto de engenharia, levando a pilhas estáveis. Estas pilhas são, mais tarde (logo que possível), revegetadas integrando-se à paisagem (FOTO 11).



FOTO 11 - Pilha de Estéril Revegetada, Mina de Canabrava, (Crisotila), Minaçu, GO.

- Instalações de Tratamento de Minérios/Metalúrgica Extrativa

As instalações ou plantas de tratamento de minérios/metalurgia extrativa compreendem seções diversas de britagem, moagem, estocagem, flotação, extrações metalúrgicas dentre outras e, naturalmente, alteram a paisagem onde se encontram implantadas. Para algumas pessoas, estas instalações agridem à vista, enquanto outras consideram que essas instalações não turbam a paisagem.

É prática comum, pintar as plantas de processamento mineral com a cor do minério processado, em função do acúmulo de poeira e sujeira. Todavia, a cor do minério, freqüentemente, destoa do verde do ambiente e isto amplia o impacto visual.

Em se tratando de obras de engenharia, há que buscar não somente a eficiência e a funcionalidade, mas também há que se valorizar o belo. Este é um tema muito vasto que faz parte da Arquitetura Industrial de Planejamento de Paisagem e foge do escopo deste trabalho.

Normalmente, o paisagismo mineiro-metalúrgico, procura atender os seguintes quesitos:

- Minimizar o impacto visual no correr de toda a vida da mina;
- Colaborar com a atenuação de outros impactos, como por exemplo a geração de ruídos e poeira;
- Facilitar a reabilitação das áreas lavradas quando a mina deixar de operar.

O paisagismo mineiro não pode ser tratado de forma isolada de outros quesitos de natureza teórica, econômica e ambiental. Assim, muitas aberturas mineiras na APA Sul RMBH são escondidas por cortinas arbóreas, estrategicamente locadas. Estas cortinas, além de esconder áreas em atividade mineira, contribuem para atenuar ruídos e evitar o escape de poeira de área de lavra etc. Além de ser esteticamente bonita, a cortina arbórea atenua ruídos, reduz poeiras e é barata (FOTOS 12 e 13).

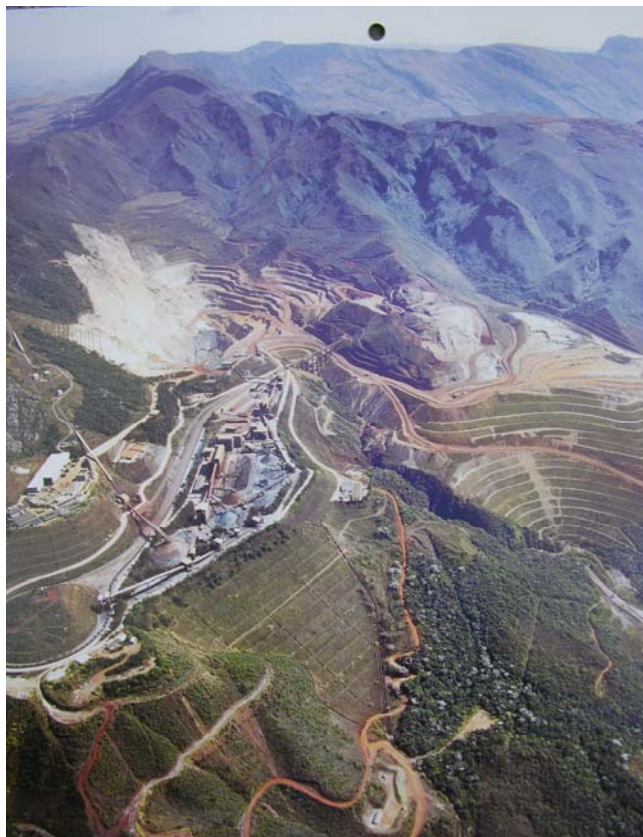


FOTO 12 – Instalação de tratamento de minério da Mina de Timbopeba, (Ferro), Mariana, MG.



FOTO 13- Planta Metalúrgica do Macedo (Níquel e Cobalto), Niquelândia, GO.

4.4.2.2 Poluição do Ar

O homem e grande proporção dos seres vivos dependem inteiramente do ar para viver. Consomem diariamente 14 kg de ar, contra 2 kg de água e cerca de 1 kg de alimentos. A falta de ar por poucos minutos mata o ser humano que, contudo, pode sobreviver sem água ou alimentos por prazos bem maiores.

O ar atmosférico é uma mistura de 13 gases. Seus principais componentes são o nitrogênio (78%), o oxigênio (21%) e o argônio (0.9%). Os contaminantes gerados costumam ser expressos em parte por milhão (ppm) por volume. Atualmente a tendência é expressar essas concentrações em termos de peso por unidade de volume, normalmente $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A poluição de ar causada por atividades humanas é significativa de 700 anos pra cá. A razão mais importante da instalação desse efeito negativo reporta-se à urbanização acelerada neste último século. Estima-se que por volta de 1950, metade da população do mundo era rural e metade urbana. Hoje, a distribuição é 80% urbana e 20% rural. Como resultado do crescimento da população urbana, tem-se uma relevante emissão de poluentes atmosféricos nas cidades. Nos países frios do hemisfério norte, queima-se carvão para propósito de eletricidade e aquecimento e estas instalações encontram-se às proximidades das cidades. Por estas e outras razões, as grandes cidades encontram-se bastante poluídas.

No tocante à poluição industrial, tem-se a estatística levantada por [Ross \(1972\)](#), onde a poluição atmosférica causada pela mineração (*strictu sensu*) é desprezível. Todavia, tal não é verdade para as transformações dos produtos minerais (siderúrgica, metalúrgica de não ferrosos, indústria cimenteira, fertilizantes) nos produtos a jusante onde a poluição associada é notável.

São cinco os principais poluentes atmosféricos. O monóxido de carbono (CO) é gerado pela combustão incompleta nos motores de explosão. Similarmente, surgem os hidrocarbonetos (HC) da combustão parcial de combustíveis fósseis. Em seqüência vêm os óxidos de nitrogênio e enxofre (NO_x , SO_x) também gerados pela queima de combustíveis fósseis, contendo nitrogênio e enxofre. Finalmente, tem-se a poluição por partículas, termo genérico e impreciso que inclui partículas de sólidos e de líquidos derivados da combustão, da abrasão ou de distúrbios em terrenos não protegidos.

A mineração produz todos estes poluentes em uma certa extensão, mas são os particulados sólidos que têm maior importância. O poluente SO_x provém geralmente das plantas metalúrgicas (*smelters*), associadas às minerações. São raros os casos de poluição do ar por CO, NO_x ou HC decorrentes de atividades mineiras, inobstante a emissão destes gases possam constituir importante problema de saúde para o trabalhador. O problema maior então se concentra na emissão de particulados sólidos, que comumente se fazem presentes nas cercaria da mineração. Exemplo deste tipo de poluição ocorre, por exemplo, na cidade de Itabira, sendo continuamente monitorada em três postos de observação da FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais.

Foge do escopo deste estudo detalhar a natureza, monitoramento e formas de controle da poluição por particulados sólidos nas minerações. As principais fontes destas partículas são áreas não vegetadas nas aberturas mineiras, pilhas de estéril, depósitos de rejeitos, estoques de minério em vários pontos da mina, pontos de transferência do minério em instalações de tratamento de minérios etc. A mitigação deste problema é feita de várias maneiras, com a aspersão de água nos pontos de emissão, enclausuramento da poeira nos locais de existência, filtros de mangas nas instalações de processamento mineral etc.

4.4.2.3 Impacto no Meio Hídrico

A água é um dos recursos mais abundantes na natureza, porém pode ser colocada em sério risco pelas atividades da mineração. A água é o meio que suporta a vida, pois em nível celular, as reações vitais se processam em solução aquosa, necessitando continuamente de água pura para não cessar a vida. Assim, o suprimento de água para vida é um dos problemas mais críticos que a humanidade deve enfrentar neste século.

A água ocorre no Planeta Terra sob três estados físicos: sólido, líquido e gasoso e circula continuamente pela atmosfera e sobre a superfície, subsolo e oceanos. A Hidrologia é a ciência que trata das águas na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, bem como suas propriedades físicas e químicas além de suas reações com o meio ambiente incluindo suas relações com a vida. Hidrogeologia ou Hidrologia Subterrânea é o segmento da Hidrologia que tem a ver com o estudo e o aproveitamento da água de subsuperfície.

A distribuição aproximada dos estoques da água no Planeta encontra-se apresentada na TAB. 5.

TABELA 5 - Distribuição da água no planeta

Localização	Volume $10^{12}m^3$	(%)
Oceanos	1.317.260	97,2
Geleiras	29.100	2,15
Lençóis Subterrâneos	8.397	0,625
Atmosfera	13	0,001
Lagos de Água Doce	125	0,009
Lagos de Água Salgada	104	0,008
Rios e Canais	1	0,0001

Levando-se em conta que os oceanos contêm água salgada, que as geleiras situam-se em elevadas latitudes, nota-se que as águas subterrâneas espalhadas por todos os continentes, constituem-se efetivamente no grande manancial capaz de suprir água às diversas populações.

Uma vez que as águas superficiais são mais visíveis, muitas pessoas imaginam que os rios, barragens e lagos constituem-se na maior fonte de atendimentos das necessidades do

homem. Na verdade, pouco mais de 97% da água doce disponível na Terra, encontra-se no subsolo o que a faz muito importante.

A circulação contínua e a distribuição da água na superfície terrestre, subsolo, atmosfera e oceanos é conhecida como Ciclo Hidrológico. Existem cinco processos básicos no ciclo hidrológico, nomeados por: (1º) condensação; (2º) precipitação; (3º) infiltração; (4º) escoamento superficial; (5º) evapo-transpiração.

Os processos básicos são resumidamente descritos a seguir:

- Condensação: ocorre quando o ar úmido se resfria, dando origem a pequenas gotículas de água.
- Precipitação: o choque entre as gotículas em suspensão provoca o seu crescimento (coalescência), tornando-as suficientemente pesadas para se precipitarem sob a forma de chuva (neve, granizo ou orvalho).
- Infiltração: parte da precipitação que atinge o solo infiltra-se em subsuperfície constituindo os mananciais subterrâneos.
- Escoamento superficial: parte da precipitação que atinge o solo pode escoar pela superfície ou ser recolhida diretamente por corpos ou cursos d'água.
- Evapotranspiração: o ciclo hidrológico se completa com o retorno da água à atmosfera sob a forma de vapor d'água por evaporação (simples mudança de fase) ou por transpiração (notadamente dos vegetais). Esse fenômeno conjunto denomina-se evapo-transpiração.

A água é mantida em circulação na superfície do planeta por duas forças motrizes (*driving forces*):

- Gravidade: que leva a água, notadamente no estado líquido (mas também sólido) para as partes mais baixas do planeta;
- Energia solar (radiante): que provoca a evaporação e, como o ar úmido é mais leve que o ar seco, ele ascende às camadas mais altas da troposfera.

A indústria mineral utiliza-se apenas de uma pequeníssima parcela da água disponível. No entanto pode interferir significativamente na circulação d'água no domínio do terreno onde se encontra instalado, interferindo na vazão das fontes e ainda provocando a poluição dos cursos d'água envolvidos. Por esta razão o impacto da mineração nos corpos d'água do entorno das minerações deve ser estudado com muito cuidado.

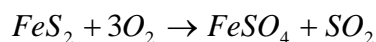
A poluição de águas devido a atividades de mineração raramente é ligada a um único poluente. Normalmente, ocorrem vários poluentes nos cursos d'água que cruzam ou encontram-se próximos às minerações. As possíveis contribuições de poluentes são numerosas. Todavia, estes poluentes podem ser agrupados em quatro classes principais: (1º) drenagem ácida de mina; (2º) eutrofização; (3º) desoxigenação e (4º) poluição por metais pesados, reconhecidamente o problema mais grave de poluição de águas em minas.

- Drenagem Ácida de Minas (DAM) / Drenagem Ácida de Rochas (DAR)

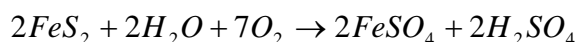
Entende-se por drenagem ácida da mina - DAM (ou AMD - *acid mine drainage*) como um fenômeno de natureza preponderantemente química, originariamente ligado a minas de carvão abandonadas, hoje contudo ocorrente em inúmeras outras explorações minerais. Na verdade, qualquer depósito mineral contendo sulfetos e particularmente a pirita está apto a desenvolver drenagem ácida.

A drenagem ácida de uma mina aparece sempre que um sulfeto reage com ar e água, dando origem a ácido sulfúrico. O processo básico acontece em três estágios.

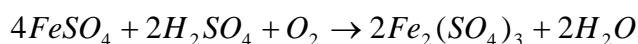
Primeiro estágio: Corresponde a oxidação do sulfeto, usualmente a pirita FeS_2 . Caso a reação ocorra em ambiente seco, forma-se sulfato ferroso solúvel e óxido de enxofre.



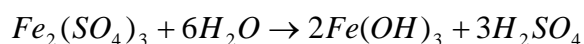
Na maioria das vezes a reação ocorre na presença da água, dando origem a formação direta do ácido sulfúrico:



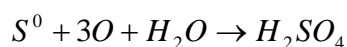
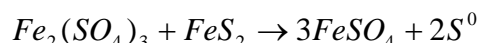
Segundo estágio: o sulfato ferroso, na presença do ácido sulfúrico e do oxigênio, oxida-se produzindo o sulfato férrico, solúvel em água. Esta reação não é controlada pela presença de água, porém aparentemente a bactéria *Tiobacillus ferro-oxidans* é um mediador essencial e, muito possivelmente, o principal responsável por esta etapa de oxidação, acelerando a reação abaixo:



Terceiro estágio: O íon férrico produzido combina-se com o hidróxido $(OH)^-$ da água para formar hidróxido de ferro. Este é um composto insolúvel em ácido que se precipita, liberando mais ácido sulfúrico.



Existem alternativas para esta reação, pois o íon férrico pode reagir com o sulfeto e acarretar novas oxidações acelerando a formação de ácido:



O ácido sulfúrico tende, na maioria das vezes, a se apresentar com uma solução de baixo título, pois o ácido ataca indiscriminadamente outros minerais. É conveniente deixar claro que o modelo apresentado é bastante simples e distante da real complexidade do sistema. Inúmeras reações paralelas ocorrem no processo real em determinadas condições, gerando enxofre parcialmente oxidado, tiosulfatos e politionatos de várias naturezas. Estes tio-sais são gerados em condições de pH mais elevado de 3 a 7, por exemplo.

A bactéria *Tiobacillus ferro-oxidans* adapta-se a ambientes bastante ácidos (pH entre 1,5 a 3,0), podendo atuar até em pH 0,9. O organismo requer oxigênio para crescer e ataca sulfetos polimetálicos de níquel, cobre, zinco, molibdênio etc., colocando cátions metálicos em solução.

Muitos autores estendem o conceito de drenagem ácida de mina (DAM) para drenagem ácida de rocha (DAR) e ainda para "mining influenced waters" (MIW), não necessariamente se reportando a águas ácidas.

As minas de ouro do Quadrilátero Ferrífero (das quais a APA Sul RMBH faz parte) reportam-se genericamente a sulfetos (pirita, arsenopirita e pirrotita) carregando ouro, contidos em formações ferríferas bandadas (FFB), do Grupo Nova Lima. Trabalhos de minerações progressos, levados a cabo de forma intermitente, desde o século passado até cerca de três lustros atrás, expuseram as piritas da FFB à oxidação com geração de águas ácidas, com pH no entorno de 2 a 3. Estas águas saem pelas bocas das antigas minas abandonadas e poluem o ambiente. Eventualmente águas circulando por pilhas de escombros mineiros com piritas, desenvolvem drenagens ácidas, potencializando ainda mais o impacto ambiental.

- Poluição por metais pesados

Entende-se por metais pesados ou metais básicos aqueles cuja densidade é acima de 5, compreendendo 38 elementos no total. Nem todos estes metais têm importância em situações mineiras, em que os elementos de maior consideração são Zn, Cu, Pb, Cd e Hg. Mesmo em pequeníssimas concentrações estes metais são letais se ingeridos regularmente.

As águas ácidas de minas e de antigas escombreliras dissolvem esses metais (solúveis em pH ácido) e os libera tornando a água totalmente imprópria para o consumo. Convém lembrar que os principais venenos da idade média nada mais eram do que sais de metais pesados. A água ácida de minas nada mais é do que uma fábrica de sais de metais pesados, pois estes comumente existem nos sulfetos dos depósitos minerais. Pelas razões expostas, este assunto deve pois ser encarado com extrema atenção.

- Eutrofização

Os lagos de água doce passam por um processo de maturação que praticamente termina quando o lago perde toda a sua água e transforma-se em terra seca. Lagos novos, como aqueles formados por geleiras, possuem poucos nutrientes e são caracterizados pela pequena produtividade de organismos e assim são chamados de oligotróficos (pobres em nutrientes). A medida que a idade do lago avança ele se torna mais rico em nutrientes, em virtude de acumulação de sedimentos, resíduos orgânicos e assim passa a ser chamado de eutrófico. O vocábulo eutrofização refere-se ao processo natural que todavia pode ser violentamente acelerado pela descarga de efluentes da mina. Trata-se de uma eutrofização cultural.

O efluente da mina pode ser tóxico mas também pode conter excesso de nutrientes tais como fosfato, nitratos, sílica etc. O lançamento de alimentos em abundância em um lago permite a superpopulação de peixes e microorganismos o que reduz a um consumo demasiado de oxigênio, causando finalmente a morte de toda esta população por asfixia. Com a morte os organismos entram em decomposição resultando em um mau-cheiro característico.

- Desoxigenação

A maior parte dos organismos sobrevivem em condições aeróbicas, isto é, carecem do oxigênio atmosférico, dissolvido na água, para respiração. Este oxigênio dissolvido (OD) é consumido por respiração ou transformações químicas e reabastecido por processos de fotossíntese dos organismos verdes (que produzem oxigênio como subproduto) além da reatuação da superfície da água. Em diversas circunstâncias, a mineração resulta em desoxigenação o que se reporta a uma das principais conseqüências de poluição.

Programas de monitoramento de efluentes mineiros são comumente realizados pela FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais, para garantir o controle da poluição em efluentes mineiros.

4.4.2.4 Ruídos (*exclusive o Golpe de Ar, Air Blast, das detonações*)

Entende-se por ruído como um som não desejado, incômodo. O som é produzido por uma fonte que vibra e se propaga em um meio que a envolve. Estas vibrações se propagam como ondas, e caso elas caiam numa certa faixa são capazes de excitar os nossos ouvidos. O meio mais comum que suporta a propagação das ondas sonoras é o ar e neste meio o som viaja na velocidade de 334 m/s a 20° C e na pressão normal (1 atmosfera).

As duas características físicas mais importantes da onda sonora são a sua freqüência e sua amplitude. A faixa de freqüência varia de um indivíduo para outro, porém costuma estar na

faixa de 20 a 20.000 Hz, embora pessoas mais idosas tendem a perder a acuidade auditiva para as freqüências mais elevadas.

A amplitude da onda sonora corresponde à variação da pressão causada pela onda e assim, ligada à intensidade sonora. Esta variação de pressão comumente denominada pressão sonora é apercebida no ser humano na faixa aproximada de 0,00002 a 20 pascais. O som mais baixo que pode ser distinguido é denominado limiar de audibilidade (*threshold of audibility*) e a pressão sonora que causa desconforto é denominada limiar do incômodo ou dor audível (*threshold of feeling or audible pain*). Como a relação entre estes dois valores expostos é da ordem de 10 milhões para um, torna-se matematicamente inconveniente usar a escala linear para cobrir esta larga faixa. Conseqüentemente, passou-se a usar a escala logarítmica, o decibel (dB). O decibel é dez vezes o logaritmo na base 10 (Briggs) da relação entre duas potências sonoras. Por sua vez, a potência sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora e, assim, o número de decibéis entre duas pressões p_1 e p_2 fica:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (p_2/p_1)^2 = 20 \log_{10} (p_2/p_1)$$

Da maneira retro exposta, o decibel expressa a relação entre duas pressões sonoras e assim torna-se necessário tomar uma delas como referência para fazer as medidas. Por acordos internacionais, a pressão de referência foi estabelecida em 0,000002 Pa, o que corresponde aproximadamente ao limiar de audibilidade de um som puro, na freqüência de 1.000 Hz. Assim, para a pressão sonora p medida em Pascais:

$$\text{Nível de Pressão Sonora} = 20 \log_{10} (p/0,00002)\text{dB}$$

Tendo em vista a escala logarítmica, decorre que as pressões sonoras medidas em decibéis não são aditivas. Assim se somarmos um som de 60 dB a um som de 70 dB não resulta em um som de 130 dB, ou seja: 60dB + 70dB \neq 130dB.

A mineração é uma indústria de força, envolvendo vários equipamentos mecânicos que normalmente são ruidosos. Os pontos geralmente mais barulhentos são aqueles nas proximidades de tratores, perfuratrizes, britagem e principalmente nas seções de moagem.

As TAB. 6 e 7 apresentam níveis de ruídos em instalações mineiras típicas. Ruídos acima de 85 dB causam não só desconforto, mas também, com o passar do tempo levam à doença profissional PAIR- Perda Auditiva Induzida por Ruídos, com graves conseqüências para o trabalhador.

TABELA 6 - Níveis de ruídos de instalações fixas

EQUIPAMENTO	Nível de Ruído dB(A)	Local de Medida
Ventiladores elétricos	90-100	A 5 m
Ventiladores a ar comprimido	Até 110	A 5 m
Britador de mandíbulas	90-100	Posição do operador
Britador de cone	92-98	Posição do operador
Martelo a ar comprimido	104-112	Posição do operador
Afiadora de brocas	102-122	Posição do operador
Moinho de bolas	Até 100	Posição do operador
Transportador de correia	82-113	Posição do operador
Bombas	89-100	Posição do operador
Flotação	63-91	Seção de flotação
Fornos	73-104	Seção de fornos
Área da pedreira	88-102	Vários pontos externos
Casa de compressores (85m ³ /min) enclausurado	52	300 m
Planta de concentração 7.500 tpd	70	100 m

TABELA 7 - Níveis de ruídos de equipamentos móveis

EQUIPAMENTO	Nível de Ruído (dB(A))	Local de Medida
Perfuratriz a ar comprimido	110-115	A 1 m
Compressor portátil grande	98	A 15 m
Dragline 10 jd ³ (7 m ³)	90-92	A 7 m
Caminhões diesel	74-109	A 15 m
	88	Cabina do motorista
Escavadeiras elétricas	78-101	A 15 m
Motoniveladoras	76-104	Posição do operador
Tratores de esteiras	84-107	Posição do operador
	87	A 15 m
Locomotivas	75-95	Posição do operador
Perfuratrizes rotativas	72-100	Posição do operador
Carregadeiras frontais	83-101	Posição do operador
Scrapers	99-104	Posição do operador
	88	A 15 m

É alta a incidência de PAIR nos trabalhadores de minas norte-americanas (da ordem de 20% para os operadores de minas metálicas). Deve também ser bastante alta a incidência desta doença nos trabalhadores de minas brasileiras.

O som perde a sua intensidade ao se projetar no espaço, variando com a lei do inverso do quadrado da distância. Dobrando-se a distância da fonte resulta numa atenuação teórica de 6dB. Na prática, essa lei do inverso do quadrado da distância é modificada por condições atmosféricas. Obstáculos diversos, barreiras de terra, cortinas arbóreas, dificultam a propagação do som para áreas extremas e são muito usados para evitar a propagação de ruídos.

Enfim, ruídos em minerações é um tema relevante, com impacto na saúde do trabalhador e causador de aborrecimentos aos vizinhos. É um tema que deve merecer grande atenção das empresas mineradoras.

4.4.2.5 Vibrações no Terreno por Detonações

Nas operações de detonação, a energia potencial contida no explosivo é repentinamente liberada, com a intenção de fragmentar a rocha. Todavia, ocorre concomitantemente um efeito secundário indesejável, que se reporta aos súbitos deslocamentos de massas nas vizinhanças da detonação, na forma de vibrações do terreno.

Foge do escopo deste relato descrever os tipos de onda formados e os mecanismos de sua propagação no meio elástico. Na prática, os fatores considerados de importância para a interpretação deste fenômeno são quatro, relacionados pelas seguintes equações da física:

$$A = \omega V = \omega^2 U, \text{ onde}$$

$\omega = 2\pi f$ é a velocidade angular da onda sinusoidal;

f é a frequência;

V é a velocidade de pico (do movimento harmônico da partícula);

U é o máximo deslocamento;

A é a aceleração de pico.

As características da onda são facilmente determinadas por sistemas vibrógrafos disponíveis no mercado em vários modelos e marcas. Estes equipamentos são muito

usados pelos especialistas em desmonte por explosivos e controle ambiental em praticamente todas as minas e prestadores de serviço no Quadrilátero Ferrífero e APA Sul RMBH.

A propagação das ondas na crosta terrestre é um fenômeno complexo. Mesmo para curtas distâncias as rochas e materiais inconsolidados apresentam-se anisotrópicos, com descontinuidades e são complexos os fenômenos ondulatórios no dióptro rocha/ar. Torna-se pois muito difícil montar um modelo físico completo, representativo da fenomenologia da propagação das ondas.

Para propósitos práticos, costuma-se usar uma equação do tipo:

$$v = k \cdot W^\alpha \cdot D^\beta, \quad \text{onde}$$

v é a velocidade de pico da partícula;

W é o peso da carga explosiva;

D é a distância do centro da detonação, e

k, α , β parâmetros determinados por experimentos e técnicas de regressão.

Langfors e Kihlstrom (1963) determinaram estes parâmetros para rochas cristalinas na Suécia e chegaram na seguinte equação:

$$v = k \cdot \left(\frac{W}{D^{\frac{3}{2}}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{onde}$$

v é a velocidade de pico da partícula (mm/s);

k é a constante, aproximadamente igual a 400 para rochas do cristalino sueco;

W é a carga de explosivo a ser instantaneamente detonada (kg);

D é a distância (m)

Os especialistas atuantes nas várias minerações, através de experiências, determinam os parâmetros dessa equação, para as várias situações mineiras e, com base no modelo desenvolvido, planejam e executam os seus desmontes obtendo o mínimo de transtorno.

Pode-se dizer que os especialistas em detonação, atuando na APA Sul RMBH, onde alguns centros populacionais encontram-se “colados” às minas (v.g. Complexo Tamanduá/Capitão do Mato, nas bordas do Morro do Chapéu) têm conseguido detonações praticamente “silenciosas”, com o mínimo de distúrbio às vizinhanças.

4.4.2.6 Golpe de Ar (Air Blast)

O termo golpe de ar (*air blast*) é usado para descrever as vibrações aéreas causadas pelas detonações. As detonações causam abruptos deslocamentos de massas de ar que promovem vibrações nas estruturas e desconforto a quem esteja submetido ao fenômeno.

Os principais fatores que influenciam no golpe de ar são:

- quantidade e tipo de explosivos;
- grau de confinamento do explosivo;
- método da iniciação;
- geologia local e topografia;
- distância e condições das estruturas;
- condições atmosféricas.

As três primeiras variáveis estão sob o controle do especialista enquanto que as três últimas não.

Diversos institutos de pesquisa investigaram os efeitos dos golpes de ar em função das estruturas. Neste contexto, mede-se o acréscimo da pressão de ar com a passagem da onda de detonação. Usando procedimentos similares aos descritos para as vibrações do terreno, ajustam-se os parâmetros dos golpes de ar (*air blast*) e controla-se o fenômeno.

Na prática, o controle das sobrepressões no ar devido a detonações é feito da seguinte maneira:

- evitar cargas pesadas e balancear o plano de fogo;
- limitar as cargas a serem instantaneamente detonadas, empregando retardos;
- tamponar adequadamente os furos;
- considerar a possibilidade de destruir a carga na detonação primária e uma fragmentação secundária (*air ram* ou *drop ball*);
- não detonar com condições atmosféricas adversas v.g. inversões de temperatura, direções do vento contrárias, nuvens baixas etc.

4.4.2.7 Recuperação de Área Degradada

Conforme mencionado anteriormente, a mineração corresponde a uma ocupação temporária dos terrenos onde se encontra o depósito mineral, com o objetivo de produzir os minerais que a sociedade necessita. Os bens minerais correspondem a recursos não-renováveis e insubstituíveis. Os depósitos minerais se esgotam e a mineração cessa. Terminada as atividades mineiras, os terrenos devem servir para outros propósitos, como para atividades agrícolas, áreas de lazer, residência etc. Cumpre pois à mineração deixar a área lavrada em plena forma para outros usos.

No processo de recuperação de uma área minerada, costuma-se empregar a seguinte terminologia:

- **Restauração:** recriar as condições apropriadas para o prévio uso da área;
- **Reabilitação:** criar, no sítio onde existia a mina, condições para o uso do terreno substancialmente diferentes daquelas existentes antes dos estabelecimentos de mineração;
- **Recuperação:** termo mais amplo, correspondendo tão somente à tomada de ações para o uso futuro do terreno para quaisquer propósitos.

Segundo o **IBAMA** (1990), recuperação de área degradada por trabalhos de minerações corresponde a “retornar o sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo”. Esta assertiva implica que a recuperação dos terrenos impactados por serviços de mineração deva ser planejada com a devida antecedência e o planejador mineiro deve objetivar uma condição futura estável, em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado deverá ter condições mínimas para estabelecer um novo solo e nova paisagem, aceitáveis pelos melhores padrões da sociedade.

A recuperação é um processo lento e deve ser iniciado ainda na fase de projeto mineiro e finalizado muito tempo após o encerramento da lavra, quando os componentes biológicos e o ambiente atingirem o equilíbrio. A utilização futura ditará as diretrizes e procedimentos aplicados na recuperação.

A equipe multidisciplinar encarregada do planejamento da recuperação da área degradada por atividades mineiras deve considerar os diagnósticos pregressos realizados nos estudos de impacto ambiental que certamente identificaram características específicas da mina e do local onde a mesma será instalada. Estas características dizem respeito aos aspectos

físicos como a topografia, geologia, solos, rede hidrográfica, paisagem etc; aos aspectos biológicos como a vegetação e a fauna, bem como aos aspectos socioeconômicos e culturais da região. Após a avaliação dessas características e do dimensionamento do grau de importância em que os diversos efeitos ambientais irão ocorrer, passa-se a definição hierarquizada das medidas a serem tomadas para atingir os objetivos específicos do plano de recuperação.

Ao se definir os objetivos específicos é importante que eles sejam escalonados no tempo. Este cronograma deve estar dividido em três grandes períodos: curto, médio e longo prazos. A duração de cada um destes períodos é variável conforme as características de cada mina.

De uma maneira geral, os objetivos e metas a serem alcançados, em princípio são:

- Curto prazo:
 - recomposição da topografia do terreno;
 - controle da erosão do solo;
 - revegetação do solo;
 - correção de níveis de fertilidade do solo;
 - atenuação do impacto na paisagem;
 - controle da deposição de estéréis e rejeitos;
- Médio prazo
 - acompanhamento do processo de sucessão vegetal;
 - reestruturação das propriedades físicas e químicas do solo;
 - ocorrência e reciclagem de nutrientes;
 - ressurgimento da fauna.
- Longo prazo
 - auto-sustentação do processo de recuperação;
 - inter-relacionamento dinâmico entre solo, planta e animal;
 - utilização futura da área.

Os objetivos de curto prazo, quando atingidos, sustentam o processo de recuperação, permitindo que seja atingido o objetivo geral. De outro lado, a definição do futuro da área deve ser claramente enunciada ainda na fase de planejamento, de tal maneira a preparar objetivamente para alcançá-las e não dispersar esforços.

Foge do escopo deste estudo detalhar técnicas específicas ligadas a recuperação de áreas impactadas pela mineração tais como: procedimentos de recomposição topográfica e paisagismo, preservação do solo vegetal e recolocação do mesmo em áreas já trabalhadas, correção das características físico-química dos solos, revegetação, tamponamento de abertura de minas subterrâneas, tratamento de pilhas de estéréis etc.

4.4.2.8 Barragem de Rejeitos

Conforme foi visto no item sobre Processamento Mineral, as minas produzem minério e estéril e as instalações de tratamento de minério (plantas de concentração) produzem concentrados que são vendidos e rejeitos que devem ser estocados. As quantidades destes materiais podem ser muito elevadas. A título de exemplo, considere uma típica mina de cobre com 350 milhões de toneladas de minério lavrável, numa relação de mineração de 3:1, com um teor médio de alimentação de 0,80% Cu, produzindo um concentrado de 25% de Cu, numa instalação de tratamento de minérios que recupera 85% de metal de valor econômico.

O cálculo de estéril produzido é trivial: $3 \times 350 \text{ Mt} \cong 1,05 \text{ Gt}$ ou seja, aproximadamente um bilhão de toneladas de rocha.

Procedendo-se em seguida o balanço metalúrgico e levando em conta a definição de recuperação metalúrgica vem:

$$C = \frac{\eta \cdot F \cdot f}{c} = \frac{0,85 \times 350 \times 0,80}{25,0} = 9,52 Mt$$

$$T = F \cdot C = 350 - 9,52 = 240,48 Mt, \text{ onde}$$

F e f são as massas e teores da alimentação da planta de concentração;

C e c são as massas e os teores do concentrado produzido;

η é a recuperação metalúrgica do processo;

T é a massa de rejeito.

Assim, no correr da vida do empreendimento mineiro, a planta irá produzir cerca de 240 milhões de toneladas de rejeito, que devem ser convenientemente estocadas, senão constituir-se-á num enorme problema ambiental.

As barragens são estruturas civis especializadas, capazes de estocar os rejeitos e permitir o fluxo de água, cumprindo requisitos de segurança, controle da poluição, capacidade de armazenamento e economia. Como tal deve estar muito bem fundamentada em critérios de projetos muito bem estabelecidos em função do tipo de rejeito, condicionantes naturais, disponibilidade de materiais de construção e interferência.

Até algumas dezenas de anos atrás, muitas minerações, jogavam seus rejeitos nos cursos d'água. Tal atitude não é hoje mais aceita, tanto por motivos ecológicos como até por motivos econômicos. Rejeitos de minerações operantes há algum tempo atrás, podem ser hoje aproveitados técnica e economicamente.

A FIG. 33 reporta-se a uma representação bastante simplificada de uma barragem de rejeitos. O rejeito do processamento, na forma de uma polpa de rocha finamente moída (v.g. abaixo de 150 mesh) é espessada e bombeada ao lago da barragem de rejeito. Os sólidos sob a forma de partículas são retidos pelo sistema e a água é filtrada e escapa pelo dreno de pé. Com o passar do tempo, a barragem vai se enchendo de sólidos e quando isto acontece ela é alteada. Uma moderna e bem construída barragem de rejeitos é mostrada na FOTO 14.

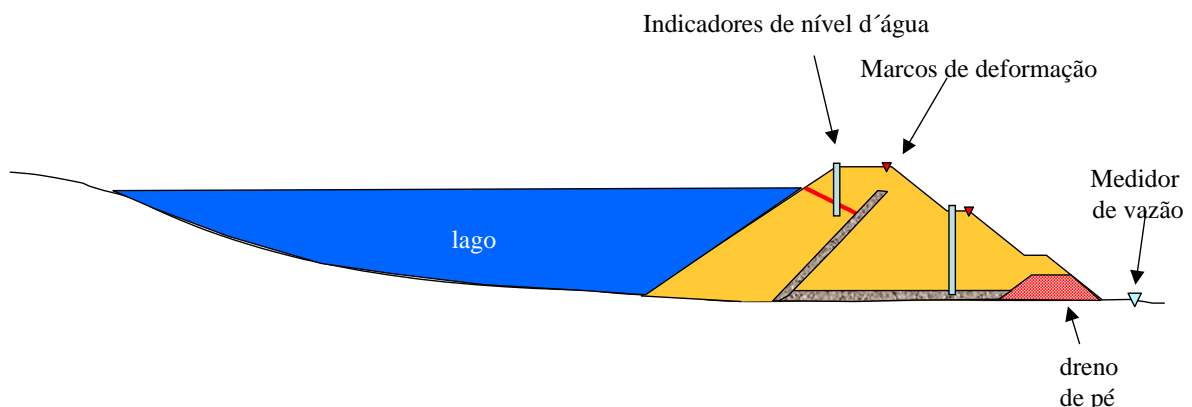


FIGURA 33 - Desenho esquemático de barragem de rejeito.



FOTO 14 – Barragem de rejeitos da Mina de Águas Claras, ferro, Nova Lima, MG.

Barragem de rejeitos são obras de engenharia de civil de mina, de enorme responsabilidade. A ruptura das mesmas resulta em acidentes ecológicos de grande extensão, podendo além disto ceifar muitas vidas de trabalhadores e de pessoas que vivem a jusante da estrutura.

Para que a barragem seja estável é necessário que ela seja bem projetada, bem construída, bem operada e bem mantida. Estas barragens são ainda monitoradas, conferindo-se as condições de estabilidades das mesmas diuturnamente.

Infelizmente, existe uma estatística de rupturas nas barragens de rejeitos, no mundo e no Brasil, com consequência ambientais e mortes associadas.

A maioria destes desastres é por, volta-se a falar deficiências de projeto, de construção, de operação e/ou de manutenção. A TAB. 8 lista algumas dessas mais importantes rupturas de barragem de rejeitos em nível internacional. Infelizmente, na área da APA Sul RMBH ocorreram duas importantes rupturas de barragens, provocando estragos ambientais (recuperáveis) e mortes (irrecuperáveis) que se reportam aos conhecidos acidentes nas barragens de mina de Fernandinho (Itaminas) e Rio Verde (MRV).

TABELA 8 – Estatística de Rupturas de Barragens de Rejeitos

Data	Nome	Local	Minério	Tipo barragem	Causa ruptura	Mortes
1928	Barahona	Chile	Cu	montante	terremoto	54
1937	Dos Estrellas	México	Au	montante	ruptura talude	70
1965	El Cobre	Chile	Cu	montante	terremoto	> 300
1966	Mir	Bulgária	Pb / Zn	montante	desconhecida	NA (>10)
1966	Aberfan	Inglaterra	carvão	pilha estéril	ruptura talude	144
1970	Mufulira	Zâmbia	Cu	-	colapso mina	89
1972	Buffalo Creek	USA	carvão	pilha estéril	percolação	125
1974	Bafokeng	África do Sul	Pt	montante	percolação	12
1985	Stava	Itália	F	montante	ruptura talude	268
1986	Huangmeisham	China	Fe	montante	percolação / ruptura talude	19
1993	Marsa	Peru	Au	montante	galgamento	6
1994	Merriespruit	África do Sul	Au	montante	galgamento / ruptura talude	17
Total de Mortes > 1114						

Notadamente, esse segundo acidente causou enorme consternação ao setor mineral, o que motivou às diversas empresas, mesmo aquelas que operam muito bem suas barragem, a procederem completa revisão nos seus métodos e a tomarem extremos cuidados. Estes tristes fatos fizeram também com que os órgãos públicos (estaduais e federais) envolvidos com mineração e meio ambiente redobrassem todos os seus cuidados.

4.4.2.9 Fechamento de Mina

Entende-se por fechamento de mina as atividades da empresa de mineração relacionadas ao encerramento da produção mineira e promoção da recuperação das áreas degradadas e atenuação dos impactos causados pelas atividades de mineração. As expressões desativação de mina ou descomissionamento de mina são praticamente equivalentes a fechamento de mina.

Já foi dito que a mineração corresponde a um uso temporário dos terrenos e assim o empreendedor mineiro tem a obrigação ética de, ao encerrar suas atividades, deixar os terrenos em plenas condições para outros usos. Além do mais, quem dita as condições de aptidão dos terrenos não é a empresa de mineração mas sim terceiros. Cabe à empresa de mineração fazer projetos, submetendo-os a órgãos públicos pertinentes e aprovisionar recursos para a execução dos planos aprovados. Cabe aos órgãos públicos zelar pela boa qualidade desses planos, não aprovando projetos de qualidade duvidosa e mau orçados, cujo valor não seja suficiente para garantir a recuperação dos terrenos após as atividades mineiras.

Até bem pouco tempo atrás as empresas de mineração não se preocupavam com os impactos ligados ao encerramento das atividades mineiras. Os exemplos destes descasos são muitos, não só no Brasil como no exterior. A título de exemplo são citados alguns casos mais famosos:

- Amplas áreas mineradas para ouro do *gold rush* da Austrália, datadas ainda da década de 1860, ainda não recuperadas. A área é totalmente despida de camada orgânica que foi destruída, a vegetação é esparsa e o solo é estéril. Estima-se que foram descarregados no ambiente cerca de 160 toneladas de mercúrio. Ainda persistem peixes contaminados pelo mercúrio até os dias atuais e as autoridades recomendam que não sejam consumidos.
- É bem conhecido o caso da mina de Wheal Jane, no Reino Unido, mal tamponada e onde ocorreu desastre ecológico com contaminação por águas ácidas.
- Um grande número de minas nos Estados Unidos foram simplesmente abandonadas, com extensivas contaminações de tal forma que o governo americano votou um super-orçamento de centenas de milhões de dólares para recuperar estas áreas.
- Inúmeras bacias de rejeito de minas de ouro nos arredores de Johannesburg, gerando poeiras e prejudicando a saúde de quem vive nos seus arredores etc.

Dados estes fatos, a maioria dos países vem exigindo que todos os projetos mineiros, desde o seu início, já incluam um estudo de fechamento da mina. Em nosso país este plano de fechamento é contemplado nas Normas Regulamentares de Mineração do DNPM. Naturalmente, é perda de tempo, proceder um plano extremamente detalhado ao início do projeto e assim o primeiro plano de fechamento da mina é bastante geral. A medida que a mineração sucede, monitora-se a mina e tira-se informações para detalhamento do plano de fechamento. Poucos anos antes de se encerrar as operações, com base em fatos reais, faz-se o plano de fechamento definitivo. Os impactos mais comuns que devem ser removidos ou atenuados no plano de fechamento da mina são os seguintes:

- Alterações na paisagem
- Cavas e *shafts* (poços)
- Terrenos fortemente impactados devido a perda do solo, pH, declividades etc.

- Materiais estéreis sobre o terreno
- Rejeitos abandonados
- Mudança de regime da água subterrânea
- Solos e corpos d' água contaminados
- Drenagem ácida de mina
- Subsidências
- Impactos na vegetação
- Perda de produtividade dos terrenos
- Poluição das águas superficiais por sedimentos ou sais
- Mudança de regime dos cursos d' água
- Poluição do ar
- Riscos de quedas em shafts ou poços
- Deslizamentos de terrenos (Landslides) etc.

Em conclusão, considera-se hoje o fechamento de mina como uma fase de grande preocupação no contexto das atividades mineiras, jamais deixando de avaliar e solucionar problemas ambientais e riscos de segurança gerados por minas abandonadas.

Assim sendo, há que se dar ênfase aos seguintes aspectos ligados ao encerramento das atividades mineiras:

- Inventário das minas abandonadas existentes nos vários distritos mineiros e elaboração de planos de recuperação de impactos negativos ainda existentes;
- Considerar o descomissionamento da mina como uma importante fase de mineração e prever o futuro monitoramento e manutenção das boas condições reinantes;
- Identificação precisa, caracterização e avaliação dos diferentes impactos ambientais para cada etapa da atividade mineira, incluindo suas formas de controle e monitoramento;
- Estabelecimento de normas adequadas para controle de emissões gasosas e pós;
- Elaboração de plano de risco potencial para a atividade mineira, em particular para a etapa de fechamento de mina e posterior à mesma;
- Elaboração e aplicação de políticas específicas orientadas para a desativação de atividades de mineração, adaptadas a cada tipo de mina em particular e detalhando ações a serem tomadas para o encaminhamento de soluções de problemas ligados a segurança de deposições de estéril, estocagens de rejeitos, contaminação de águas, drenagem ácida de mina e de rochas e outros impactos indesejáveis;
- Introdução nos projetos mineiros de tecnologias modernas voltadas a melhor recuperação de reservas minerais, minimização de impactos ao meio ambiente e melhoria de saúde e higiene dos trabalhos;
- Implementação de regulamentos práticos e não burocráticos que objetivem concepções modernas de fechamento de minas.

Nos países de mineração avançada o plano final de fechamento da mina costuma ser submetido às autoridades competentes cerca de seis meses ou alguns poucos anos antes do encerramento das atividades mineiras. Normalmente, as ações a serem tomadas no descomissionamento da mineração são expostas num cronograma detalhado dos trabalhos, apontando claramente todas as atividades necessárias para prevenir a futura degradação ambiental resultante das atividades de mineração. Os principais pontos de atenção variam naturalmente de empreendimento para empreendimento porém concentram-se nos temas fechamento da disposição de rejeitos, manejo das águas superficiais e subsuperficiais, estabilidade de taludes e subsidências, estabilização de pilhas de estéreis etc. Não havendo

mais minério a processar costuma-se desmontar os equipamentos e instalações e esta tarefa é completada com a limpeza total (*clean-up*) dos terrenos tornando-os aptos a uso futuro. É muito comum o estabelecimento de núcleos urbanos ao redor das minerações e cessadas as atividades mineiras os locais onde estavam implantados as instalações de beneficiamento/metalúrgicas extrativas tornam-se muito valorizados. Estes locais devidamente limpos tornam-se aptos a receber residências, comércios, escritórios etc.

O fechamento de mina pode eventualmente envolver largas somas financeiras e é lícita a preocupação do público se a empresa de mineração efetivamente vai arcar com os custos deste processo de encerramento de atividades e vai sair da área com todos os problemas ambientais bem resolvidos. Em alguns casos, de boa ou má fé, a empresa transfere a sua área ou direitos minerários para terceiros e com isto também as responsabilidades.

Ultimamente, veio a tona a questão da determinação do valor de uma garantia financeira para fins de fechamento da mina, existindo muitos instrumentos no mercado, como seguros, cartas de crédito, depósitos vinculados etc., para assegurar o cumprimento das obrigações. Agências governamentais de vários países vêm adotando medidas para que as minerações apresentem garantias financeiras para que o fechamento de mina seja feito de forma harmoniosa e respeitando o meio ambiente.

4.5 Observações Gerais sobre a Lavra de Minas na APA Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte

Como se sabe, a APA Sul RMBH pertence ao macro domínio denominado Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, uma das mais famosas, tradicionais e importantes províncias minerais do mundo. Com inegável vocação mineira que vem ainda do Ciclo do Ouro do Século XVIII onde foram estabelecidos importantes centros de mineração (Ouro Preto, Mariana, Caeté, Pitangui, Nova Lima etc), foi alvo dos interesses ingleses no Século XIX onde atuaram inúmeras empresas britânicas, a mais famosa delas a Saint John del Rey Mining Ltd., aportando apurada tecnologia e substanciais recursos de capitais, passou pelo Século XX onde foram explorados os mais diversos depósitos minerais como ferro, ouro, manganês, bauxita etc. Chegou ao Século XXI onde o grande negócio seguramente é o ferro. No hodierno mundo globalizado, pratica-se no Quadrilátero Ferrífero e, por conseqüência, na APA Sul RMBH a melhor arte minerária existente no planeta. Duas grandes universidades de elevado nível científico-técnológico, a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com suas escolas de engenharia de minas, metalurgia e geologia preparam os jovens para seus afazeres mineiros. Naturalmente, esse centro mínero-metalúrgico de enorme valor econômico é visitado diariamente por cientistas, profissionais e empresários de todos os continentes que aportam continuamente novidades técnicas e científicas que se fundem, ampliando o conhecimento tecnológico. Ressalta-se que este conhecimento vem sendo transferido para outras importantes províncias e distritos mineiros do país, como também para as diversas minas da Província Mineira de Carajás no Estado do Pará e para as bauxitas da Amazônia Oriental (Trombetas, Juruti, Paragominas) etc.

5. A APLICAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TEMA PARA O ZEE DA APA SUL RMBH

5.1 Mineração e Desenvolvimento Sustentável

O presente relatório é parte integrante das atividades previstas do estudo intitulado Zoneamento Ecológico-Econômico da APA SUL RMBH que trata o tema Mineração, dentro da óptica de desenvolvimento sustentável. O termo desenvolvimento sustentável foi usado pela primeira vez em 1982, no informe de título “Nosso Futuro Comum”, redigido pela Primeira Ministra da Noruega, Gro Hartlank Brundtland (também referido como Informe Brundtland), na qualidade de Diretora do Comitê da ONU para a formação do que é hoje a União Européia, com a aceção de “promover o desenvolvimento satisfazendo as necessidades de geração presente, porém sem comprometer a capacidade das gerações futuras, na satisfação das próprias necessidades”.

É importante compreender que vivemos em um mundo ou sistema isolado (na aceção termodinâmica do termo), nossos recursos são limitados e tudo o que fazemos ou deixamos de fazer afeta as outras pessoas que vivem conosco ou que viverão depois de nós.

O desenvolvimento pressupõe pelo menos dois processos:

1. Aumento do nível de vida¹ geral de uma região;
2. Extensão do nível de vida considerado como aceitável ao maior número de habitantes de uma zona ou região.

A qualidade de vida não possui variáveis perfeitamente definidas, dificilmente percebemos se está aumentando, mas sentimos claramente quando está diminuindo. Deste modo o desenvolvimento será captado em função do saber e entender dos habitantes de um determinado território e sua cultura. Assim, de nada vale um condomínio de luxo, fechado, em uma vila de pescadores, onde os magnatas nem sequer recolhem impostos que venham beneficiar a vila próxima.

Reconhece-se que:

1. A qualidade de vida depende do grau em que esteja satisfeitas as necessidades básicas dos habitantes de uma região;

¹ Usa-se o termo “nível de vida” no lugar de “qualidade de vida”. “Nível de vida” é uma característica que se mede com indicadores quantitativos. “Qualidade de vida” é uma característica qualitativa, não expressa por números.

2. Como necessidades básicas entendem-se pelas responsabilidades e direitos de todos os habitantes e não de alguns poucos, ou mesmo, muitos com maiores possibilidades de imporem o seu critério.

Isto posto, o desenvolvimento sustentável é uma proposta que valoriza a qualidade de vida, com o pressuposto que as gerações futuras poderão gozar as mesmas vantagens. Assim, não se pode confundir crescimento com desenvolvimento, uma vez que o segundo envolve o primeiro. Desta maneira, o objetivo é que uma pessoa, uma cidade e uma região ou um país se desenvolvam, não somente cresçam.

O desenvolvimento sustentável pressupõe o manejo adequado de todos os recursos: os ambientais, os econômicos e os sociais, dentro de um programa detalhado com o intuito de melhorar a qualidade de vida de todos, sem contudo prejudicar as próximas gerações. Quaisquer dos recursos arrolados, se manejados de forma irracional pressupõe-se que venham acarretar dificuldades sérias e até intransponíveis com prejuízos para as gerações futuras. Estas gerações futuras não são os habitantes do ano 3000, mas sim algo muito mais próximos de nós, nomeadamente os nossos filhos e os nossos netos.

A FIG. 34 mostra como o desenvolvimento sustentável implica necessariamente nos três recursos, que se encontram interrelacionados e não devem ser entendidos de forma isolada.



FIGURA 34 – Recursos para o desenvolvimento sustentável

As três fases interatuam de maneira sinérgica, tanto positiva quanto negativamente, de maneira que devem ser sempre analisadas em conjunto. A título de exemplo, uma região com um incontável número de fábricas, rodeadas por um cinturão de vilas de miséria e um ambiente depredado não pode ser considerada desenvolvida, em que pese a análise econômica indicar o contrário.

Em rápidos lampejos, assinala-se:

- Desenvolvimento Econômico

O programa econômico implica em pelo menos:

- aumento do produto bruto regional;
- aumento das inversões de capital na área;
- disponibilidade de mão-de-obra qualificada;
- aumento da renda per capita etc.

Muitos desenvolvimentistas tais do passado diziam que bastava estes indicadores positivos para que tudo estivesse bem. Lamentavelmente, um maior produto bruto regional não significa que seus benefícios cheguem a todos e pode significar uma sobrecarga no meio ambiente.

- Desenvolvimento Social

O desenvolvimento social pode ser medido ou apreciado pelos seguintes itens, entre outros:

- distribuição adequada do produto bruto;
- diminuição de desemprego;
- saúde;
- educação;
- serviços;
- moradia para todos.

A súbita geração de riqueza em um determinado local, como por exemplo em Serra Pelada, município de Curionópolis, PA, pode repentinamente atrair uma enorme quantidade de pessoas, sem todavia contar com a estruturação necessária. O aumento incontrolado da população implica em colapso de todos os serviços, proliferação de doenças, elevado impacto ambiental etc. A falta de tecnologia na produção pode implicar em inúmeros acidentes de trabalho e a término súbito das atividades, restando no local nada mais que vilas imundas, habitadas por lumpem proletários, decadentes sociais. É lamentável que explorações minerais desta natureza tenham, em nosso país, sido encorajadas por políticos inescrupulosos e até avalizados por órgãos governamentais.

Casos deste tipo só levam a desagregação social e devem ser combatidos por todos os cidadãos.

- Cuidados com o Meio Ambiente

Algumas normas mínimas de cuidados com o meio ambiente são as seguintes:

- Não submeter um território às solicitações ambientais além daquelas capazes de suportar;
- Minimizar os impactos ambientais;
- Não avançar sobre o ambiente natural de maneira irresponsável, como fazem manchas urbanas incontroláveis e desmatamentos agro-pastoris sem quaisquer planejamentos;
- Reformular as características mínimas de sobrevivência em ambiente urbano;
- Controlar e acionar todos usuários de um território quanto a efetiva conservação do meio ambiente.

A agricultura e a mineração têm trazido crescimento a algumas regiões do norte do País. Todavia nota-se, muitas vezes, crescimentos incontrolados, com cidades fortemente demandadas por um rápido aumento populacional, porém sem a mínima infra-estrutura necessária, com esgotos correndo a céu aberto e várias doenças ceifando a vida da população. As pessoas são partes integrantes do meio e não podem ser tratadas como um agente externo. O ser humano tem o direito de viver num ambiente sadio com o mínimo de conforto e de qualidade de vida.

Enfim, o desenvolvimento sustentável reporta-se a um conceito teórico, eventualmente fantasioso e até utópico, mas que deve ser perseguido pelos cidadãos conscientes e politizados que efetivamente almejam um país melhor para sua geração, bem como, para seus descendentes.

A moderna mineração apegar-se à filosofia de extrair da terra os minerais que a sociedade necessita, maximizando o aproveitamento dos recursos não-renováveis, minimizando os impactos ambientais e ainda respeitando a saúde e a integridade do trabalhador. Não vale a pena produzir ceifando irresponsavelmente vidas de trabalhadores ou arrebatando o meio ambiente. Estes princípios estão em perfeita sintonia com a filosofia do desenvolvimento sustentável.

Em termos globais, todos os seres humanos são apenas inquilinos temporários deste Planeta e não donos, como muitos pensam. Por isso cada um de nós tem a responsabilidade moral de entregar o Planeta em boas condições a quem vier habitá-lo no futuro.

5.2 Importância do Entendimento do Tema Mineração para o ZEE da APA SUL RMBH

A mineração, a mais antiga indústria em atividade no Brasil, iniciou suas atividades ainda no século XVIII, época do Brasil Colonial, nas terras do Quadrilátero Ferrífero. Atingiu seu apogeu no chamado Ciclo do Ouro do século XVIII, passou por altos e baixos e chegou, bastante forte, neste começo de século XXI, constituindo o carro chefe da economia do Estado de Minas Gerais e é um dos mais importantes setores da economia do País.

A descoberta do Brasil, não despertou em Portugal, nas primeiras décadas que a seguiram, praticamente nenhum interesse exploratório. Na verdade, Portugal estava muito mais interessado no desenvolvimento do comércio das especiarias com a Índia, do que com a exploração de eventuais recursos da colônia sul-americana. Todavia, o sucesso das conquistas castelhanas, no México e no Peru, motivaram os portugueses a explorar a nova terra.

O sucesso da empreitada espanhola deu-se com a sujeição de povos culturalmente avançados e hábeis no trato dos metais, por um povo ávido deste tipo de riqueza. Quando o conquistador espanhol Francisco Pizarro encontrou e aprisionou o imperador inca Atualpa na cidade de Cajamarca, nas montanhas peruanas, em 16 de novembro de 1532, Atualpa era o monarca absoluto do maior e mais adiantado Estado do Novo Mundo, enquanto que Pizarro representava o Rei católico Carlos I, da Espanha. Pizarro reteve seu prisioneiro por oito meses, enquanto obtinha o maior resgate da história com a promessa de libertá-lo. Após receber o resgate - ouro suficiente para encher um quarto com aproximadamente 6,6 metros de comprimento, 5 metros de largura e 2,5 metros de altura - Pizarro renegou sua promessa e executou o inca.

No Brasil as coisas aconteceram de forma diferente. Foram organizadas entradas no continente por um povo sem tradição mineral, com o intuito principal de escravizar índios. A situação porém se modificou quando foram encontrados os ricos aluviões do Quadrilátero Ferrífero, já no século XVII, onde o parco conhecimento da arte da mineração foi altamente compensado com as riquezas dos jazimentos e a facilidade da extração do metal nobre, liberado e grosseiro. Para aproveitar tais *bonanzas* importaram escravos da região africana, freqüentadas por árabes que já conheciam os princípios de mineração. Pode-se assim considerar esta como a primeira importação de tecnologia na mineração brasileira.

A atividade de mineração prosperou nas terras mineiras que teve o seu apogeu no chamado Ciclo do Ouro perdurou por todo o século XVIII, sendo o grande responsável pelo estabelecimento das cidades históricas de Minas Gerais, Ouro Preto, Mariana, Sabará, São João d' El Rei etc.

Após o esplendor mineral do século XVIII segue-se a decadência do século XIX e a migração dos mineradores para as fronteiras agrícolas, onde iniciavam-se as plantações de café.

A decadência da produção do ouro na passagem dos séculos XVIII a XIX é um fenômeno complexo ligado a várias causas, como a exaustão dos ricos aluviões, o sistema tributário

mais voltado à arrecadação do que propriamente ao crescimento da produção, carências tecnológicas generalizadas para exploração de depósitos em rocha sã etc. Para sanar estas deficiências a Coroa Portuguesa contratou o Barão Wilhelm Ludwig von Eschwege, formado na Universidade de Göttingen, na Alemanha. O Barão chegou ao Brasil em 1810 com a missão de diagnosticar o estado da mineração brasileira e encaminhar soluções práticas e modernas para sua recuperação, bem como, para avaliar os recursos ainda não explorados, sugerindo formas de aproveitamento.

Os principais feitos do Barão von Eschwege encontram-se registrados no notável livro de sua autoria *Pluto Brasiliensis*, em dois volumes, que veio a lume em 1833. É interessante ressaltar que Charles Darwin valeu-se dos conceitos de geologia da América do Sul desenvolvidos por Eschwege para apoiar suas extraordinárias idéias expostas no livro: *A Origem das Espécies*, datado de 1859.

Eschwege teve imensos problemas com a burocracia brasileira e com os poderes públicos da época que aparentemente dificultaram (ou boicotaram) a ação deste homem da ciência / empreendedor. Apesar de todas as dificuldades cumpriu os objetivos que lhe foram atribuídos. Inclusive a ação de Eschwege não se limitou a sugerir, projetar e aconselhar (embora fosse pouco acatado). Ele criou efetivamente a primeira empresa de mineração do país, a Sociedade Mineralógica de Passagem, com o objetivo de dar continuidade à lavra da camada aurífera que mergulhava à margem direita do Ribeirão do Carmo, em Passagem de Mariana. O minério extraído dessa mina por métodos de subsuperfície era moído por pilões e o metal nobre era extraído por amalgamação.

Outro grande feito do Barão Eschwege foi o de montar a primeira siderurgia no Brasil, nas proximidades de Congonhas, a Imperial Fábrica de Ferro (Fábrica Patriótica).

No início do século XIX, através da 1ª Revolução Industrial surgiu o Reino Unido como a grande potência mundial, sendo que a citada revolução foi maiormente baseada no binômio carvão-ferro. À época este país estava bastante capitalizado, em função de excedentes da poupança colonizadora. As relações entre Portugal e Inglaterra eram totalmente assimétricas, com subordinação do país ibérico e esta relação transferiu-se imediatamente para o Brasil colônia, através da imposição de tarifas preferenciais, em empréstimos externos, no auxílio militar (Cochrane) e até mesmo no privilégio judicial (ingleses não poderiam ser julgados no Brasil por atos ilícitos aqui cometidos).

Neste contexto não é de se admirar que inúmeras empresas inglesas aportassem em Minas Gerais para explorar os minérios de ouro aqui existentes. Para citar apenas algumas destas empresas vêm: Imperial Brazilian Mining Association (minas de Gongo Soco, Cata Preta, Antônio Pereira e Socorro), Brazilian Company (Cata Branca, Morro das Almas), National Brazilian Mining Association (Cocais), Roça Grande Brazilian Gold Mining Company (Roça Grande) etc.

Dessas empresas, destaca-se a Saint John D'El Rey Mining Co.Ltd, fundada em 1930, que explotou a formosa mina de Morro Velho até praticamente os dias de hoje, além de vários outros jazimentos no Distrito Aurífero de Nova Lima (em área da APA Sul RMBH). Neste mesmo contexto, embora francesa, chegou mais tarde ao Brasil a Société des Minas D' Or de Faria (1887) para explorar a Mina do Faria.

A principal conclusão é que, em todo o século XIX, foram explotadas praticamente todas as bocas de mina de ouro do Quadrilátero Ferrífero (incluindo as propriedades da APA Sul RMBH) inobstante a história tenha mostrado que apesar de toda a tecnologia trazida da Europa, as empresas inglesas não lograram em geral atingir a lucratividade esperada, salvo talvez as minas de Passagem de Mariana e Morro Velho.

No final do século XIX instalou-se novamente a decadência da mineração de ouro em Minas Gerais, exceção feita a Saint John D'El Rey Mining Co., graças a competência e ousadia do

engenheiro George Chalmers que aprofundou a mina de Morro Velho e dotou o complexo mineiro de planejamento e infra-estrutura de apoio jamais imaginados na região.

Em paralelo a decadência da mineração de ouro o final do século XIX também trouxe a decadência da siderurgia, desativando-se toda a produção de gusa no território nacional.

Saltando um grande período de tempo e chegando aos dias atuais, pode-se dizer que apesar de todas as dificuldades, incompreensões e muitas decisões equivocadas, a mineração chegou neste início do século XXI, relativamente bem estruturada.

O cidadão esclarecido das Minas Gerais sabe que para o Estado desenvolver, tem que contar com a produção dos recursos minerais de seu rico subsolo. Não mais se depende da tecnologia do estrangeiro para planejar a nossa mineração, pois hoje tem-se excelentes recursos humanos, capacitados a conceber, projetar, construir e operar complexos mineiros altamente sofisticados. Mesmo em termos de capitais o setor esta relativamente bem. Tem implantado e operado sucessivos empreendimentos com grande sucesso financeiro e assim o setor está capitalizado.

Profissionais mineiros vêm sendo inclusive solicitados por outros estados da federação, como por exemplo, o Pará, para desenvolver esse setor alhures e vem cuidando desta importante incumbência com muita proficiência. Encontra-se hoje, com muita freqüência, profissionais mineiros atuando com sucesso nas mais importantes minerações do país, da América do Sul (Chile, Peru, Argentina etc.) e mesmo de outros continentes mais longínquos v.g. na minas da Austrália, África do Sul, Canadá etc.

O futuro da mineração nas terras de Minas é promissor, mas permanece o desafio de lavrar economicamente minérios mais pobres e complexos, cuidando bem da conservação dos recursos não-renováveis, sem prejudicar o meio ambiente e respeitando a saúde e integridade do trabalhador.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho da disciplina Mineração, dentro do contexto de apoio ao ZEE da APA Sul RMBH se propôs a realizar:

- Coletas e análises de dados dos estudos multidisciplinares já realizados visando o ZEE da APA Sul RMBH;
- Visitas, acompanhada ou não de profissionais especialistas da CPRM, às principais ocorrências, depósitos minerais, jazidas, minas, complexos minerais e instalações de tratamento de minério/plantas metalúrgicas extrativos visando levantamento de dados sobre o aproveitamento destes recursos e tecnologia empregada dentro da óptica de um desenvolvimento sustentável;
- Avaliação das técnicas de pesquisa mineral, modelamento de depósitos e avaliação de recursos/reservas utilizados no desenvolvimento dos depósitos minerais da APA Sul RMBH. Estado da arte e prospectiva futura;
- Avaliação das técnicas de mineração e planejamento mineiro empregados nas minas da APA Sul RMBH. Operações unitárias e equipamentos. Problemas especiais: empilhamento de estéreis, água ácida de minas, descomissionamento de minas etc.
- Avaliação das técnicas de tratamento de minérios/extração metalúrgica utilizadas. Problemas especiais: barragens de rejeitos, efluentes de processo etc. Competitividade da indústria mineral;
- Impactos das minerações da APA Sul RMBH no meio ambiente. Problemas especiais: recuperações de áreas degradadas, minas abandonadas, *custodial transfer* etc. Antevissão do que está por vir e sugestões. O futuro da mineração na APA Sul RMBH.

Esse tipo de trabalho enquadra-se na classe de pesquisa dos estados da arte de tecnologia ligada à mineração (lato senso) e costuma, *mutatis mutandi*, atender os seguintes passos (GIL, 1996, modificado):

- a) Determinação dos objetivos;
- b) Elaboração do plano de trabalhos;
- c) Coleta e organização de dados;
- d) Tratamento dos dados;
- e) Redação do trabalho.

- Determinação dos objetivos

Os objetivos foram previamente estabelecidos, antes do início dos trabalhos. Em resumo, reportam-se ao levantamento da tecnologia mineira (no senso amplo) empregada pelas minerações da APA Sul RMBH, seu papel na geração de riquezas, dentro do contexto de desenvolvimento sustentável e de minimização dos impactos no meio ambiente.

- Elaboração de Plano de Trabalho

Foi elaborado um cuidadoso questionário a ser aplicado às principais minas e/ou complexos mineiros visando a coleta organizada de dados referentes a:

1. Identificação do empreendimento: incluindo nome da mina, empresa de mineração, título legal, localização, substâncias minerais lavradas etc.
2. Caracterização dos recursos/reservas: incluindo uma súmula da geologia, tipos de minério, métodos usados para definição dos recursos/reservas, classificação dos recursos/reservas, possibilidades de ampliação etc.
3. Informações básicas sobre a lavra da mina e planejamento da produção, envolvendo: método de lavra, escala e planos de produção, vida da mina, características principais do projeto mineiro (dimensões da lavra atual e final, altura das bancadas, relações estéril minério etc), procedimentos empregados no planejamento mineiro, operações unitárias de lavra, equipamentos, dispositivos especiais economizadores de energia etc.
4. Processamento mineral: incluindo fluxograma de processo e balanço massivo, lista de equipamentos, descrição do processo, desempenhos metalúrgicos, insumos etc.
5. Custos envolvidos.
6. Utilidades e facilidades.
7. Meio ambiente, higiene e segurança do trabalho.
8. Fotos e documentos.

Infelizmente, a maioria das operações mineiras não se dispuseram a preencher tal questionário, em função de várias razões, principalmente ao fato de que o seu corpo profissional especializado estava alocado a outras atividades inadiáveis e assim não tinham como ajudar. Disseram que a maior parte dos dados solicitados estavam no Relatório Anual de Lavra - RAL entregue ao DNPM. Tentou-se imediatamente, conseguir os dados registrados no RAL, através do DNPM, porém a Instituição declarou os dados do RAL como confidenciais não podendo compartilhá-los com o projeto da APA Sul RMBH.

- Coleta e Organização de Dados

Havia se montado todo um sistema lógico de tratamento dos dados o que facilitaria a comparação das características técnicas das várias minerações de forma muito organizada e sistemática. Todavia não foi possível apropriar-se dos dados de forma organizada conforme inicialmente planejado.

- Tratamento de dados

Foram tratados, da melhor forma possível, os dados passíveis de serem coletados. Uma vez que a coleta e organização não foram sistemáticas, não foi possível efetivamente consistí-los, depurando os eventuais erros.

- Redação do trabalho

Trata-se do último item previsto pela metodologia dos trabalhos.

Em resumo, o presente estudo foi montado com dados coletados diretamente em visitas as diversas minas. Embora não completos, sistemáticos e organizados como inicialmente se previra foram suficientes para realizar o estudo divisado.

7. RECURSOS MINERAIS DA APA SUL RMBH E SUA EXPLORAÇÃO

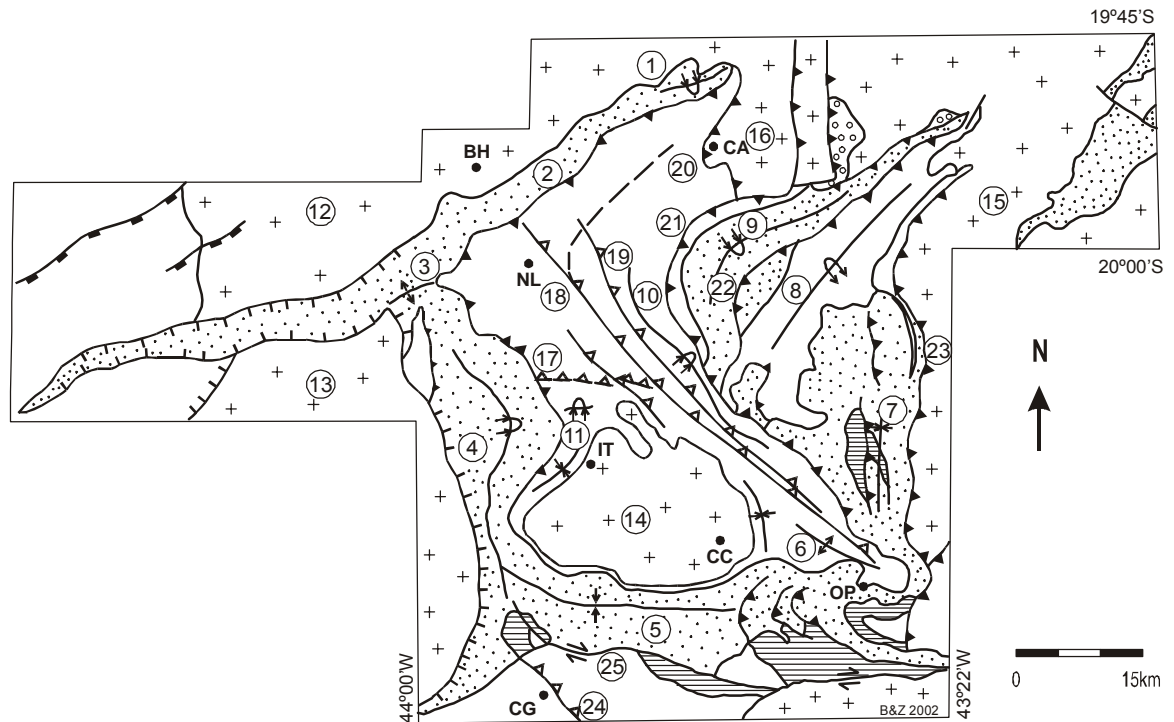
Os recursos minerais da APA Sul RMBH devem ser compreendidos no contexto de sua geologia, descrita nesse Projeto por Silva *et al.* (2005). A APA Sul RMBH encontra-se totalmente inserida no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, possivelmente a mais importante província metalogenética do Brasil, guardando importantes jazidas de ferro e ouro, além de depósitos de manganês e bauxita, dentre outros.

A mineração é a principal atividade econômica do Quadrilátero Ferrífero, cujos registros mais antigos datam ainda do século XVII e encontram-se associados aos principais núcleos populacionais. A situação atual da exploração configura-se como complexos mineiros de grande vulto, com relevante papel sócio-econômico para o Estado e para os municípios abrangidos.

A estruturação do Quadrilátero Ferrífero encontra-se representada na FIG. 35, preparada por Baltazar e Zuchetti (2005). Trata-se de uma estrutura formada por domos e quilhas, onde as rochas mais antigas (complexos granítico-gnáissicos) encontram-se discordantemente recobertas por rochas supra-crustais iniciadas pelo Cinturão de Rochas Verdes do Supergrupo Rio das Velhas, seguidas pela seqüência metassedimentar denominada Supergrupo Minas, sucedida discordantemente pelo Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço.

Dessas entidades estratigráficas, hoje a mais importante sob o ponto de vista econômico reporta-se ao Supergrupo Minas, subdividido nos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba. O Grupo Caraça é subdividido nas formações Moeda (essencialmente quartzitos, com metaconglomerado na base) e Batatal (filitos sericíticos). O Grupo Itabira, corresponde a metassedimentos de origem química, subdividido nas formações Cauê (itabiritos e hematitas) e Gandarela (dolomitos diversos).

Depois do Supergrupo Minas, a entidade mais importante, também sob o ponto de vista econômico, é o Supergrupo Rio das Velhas, correspondendo a uma seqüência metassedimentar (xistos, quartzitos) com intercalações de formações ferríferas bandadas (FFB) mineralizadas a ouro.



LEGENDA

- Supergrupo Espinhaço
- Grupo Itacolomi
- Supergrupo Minas
- Supergrupo Rio das Velhas
- Complexos Granito-gnáissicos

- Falha de empurrão D1
- Falha de empurrão D2
- Falha de empurrão D3
- Falha normal D4
- Falha de empurrão D5
- Falha transcorrente

- Anticinal, anticinal invertido
- Sinclinal, sinclinal invertido

FIGURA 35 – Mapa das Principais Feições Estruturais do Quadrilátero Ferrífero (Baltazar e Zuchetti, 2005, modificado de Chemale Jr. et al, 1994)

7.1 Substâncias Metálicas

Os mais importantes minérios (metálicos) na APA Sul RMBH são em primeiro lugar, minérios de ferro (hematita e itabiritos) e em segundo lugar, minérios de ouro. Outras substâncias metálicas de valor econômico são o alumínio (bauxita) e o manganês. O urânio é um minério que pode se tornar economicamente interessante. Ocorrem ainda na área outros metais como o antimônio.

7.1.1 Ferro

O ferro é hoje o principal minério produzido no Brasil, no Estado de Minas Gerais, na Província Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero e pela APA Sul RMBH. As mineralizações de ferro na APA Sul RMBH manifestam-se conspicuamente nas estruturas da Serra do Curral e nos sinclinais da Serra da Moeda e do Gandarela, correspondendo a um enorme volume lavrável, distribuídos por um grande número de empreendimentos mineiros, alguns de grande porte (v.g. Águas Claras, Mutuca, Pico do Itabirito, Tamanduá-Capitão do Mato, Córrego do Feijão), outros de médio porte (Pau-Branco, Rio Verde) e outros de pequeno porte (Herculano, Metal Brasil etc).

Nas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero (e da Apa Sul RMBH em particular) o Grupo Itabira do Supergrupo Minas, situa-se estratigraficamente entre os quartzitos e filitos do Grupo Caraça, na base, e os quartzitos e filitos do Grupo Piracicaba, no topo. Normalmente, os filitos da Formação Batatal são sucedidos em transição para os itabiritos da Formação Cauê e dolomitos da Formação Gandarela, passando para os quartzitos ferruginosos da Formação Cercadinho do Grupo Piracicaba. Esta seqüência provém da instalação de uma plataforma marinha datada de aproximadamente 2,4 Ga (BABINSKI et al., 1992,1995). Deformações tectônicas causaram a preservação dos itabiritos em posições sinformais, eventualmente afetadas por cavalgamentos e zonas de cisalhamento associadas ao ciclo Transamazônico. Os enormes depósitos de ferro do Quadrilátero Ferrífero relacionam-se aos itabiritos da Formação Cauê, cujas principais minas são Águas Claras, Alegria, Brucutu, Capanema, Cauê, Chacrinha, Conceição, Dois Córregos, Esmeril, Fábrica Nova, Gongo Soco, Fazendão, Mutuca, Onça, Periquito e Pico do Itabirito, responsáveis por uma produção superior a 200 Mt de minério, com um teor de 60 a 65% de Fe.

O termo itabirito, por definição, reporta-se a uma formação ferrífera bandada (FFB) metamorfizada. O intemperismo pode decompor minerais de ganga e enriquecer o protominério itabirítico, levando-o a altos teores (hematitito), acima de 64% Fe.

As FIG. 36 e 37 apresentam seções típicas das minas de Águas Claras e Mutuca, destacando-se a elevada proporção de minério de alto teor (hematitas) e uma pequena massa de itabiritos.

Essas minas esgotaram-se no início dos anos 2000, pois reportam-se a operações visando o minério de alto teor (hematititos), explotados prioritariamente no Quadrilátero Ferrífero, por razões de ordem econômica (menor investimento em instalações de beneficiamento e menores custos operacionais). Dada a priorização de minérios ricos, os depósitos em exploração daqui para o futuro, contêm menor proporção de hematititos ou então são depósitos estritos de itabiritos.

7.1.2 Ouro

O Quadrilátero Ferrífero é mundialmente conhecido por hospedar em áreas restritas um grande número de depósitos de ouro, alguns deles de classe internacional (*world class*). Estes depósitos de ouro encontram-se maioritariamente ligados ao Supergrupo Rio das Velhas (Grupo Nova Lima), depois aos conglomerados basais do Grupo Caraça e eventualmente a algumas zonas de cisalhamento da Formação Cauê.

Os distritos de Nova Lima-Caeté e de Barão de Cocais, situados respectivamente a sudeste e leste da cidade de Belo Horizonte, relacionadas ao Grupo Nova Lima, contêm os mais famosos depósitos de ouro de Minas Gerais, entre eles Morro Velho (>470 t Au), Cuiabá (>180 t Au), Lamego(>10 t Au), Raposos (>40 t Au), Brumal (>30t Au) e São Bento(> 80 t Au).

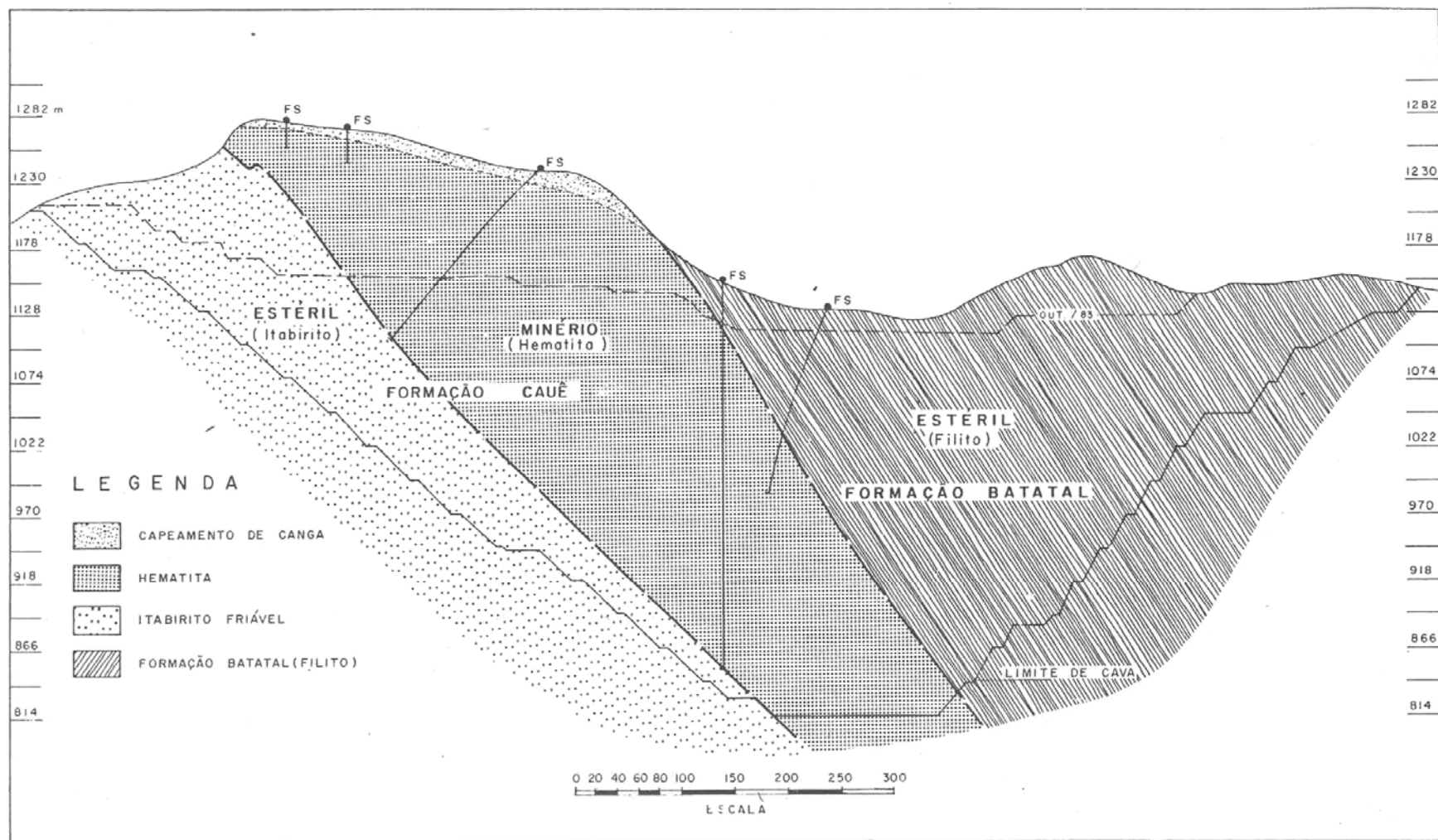


FIGURA 36 – Seção geológica esquemática da mina de Águas Claras (apud Gomes, 1986)

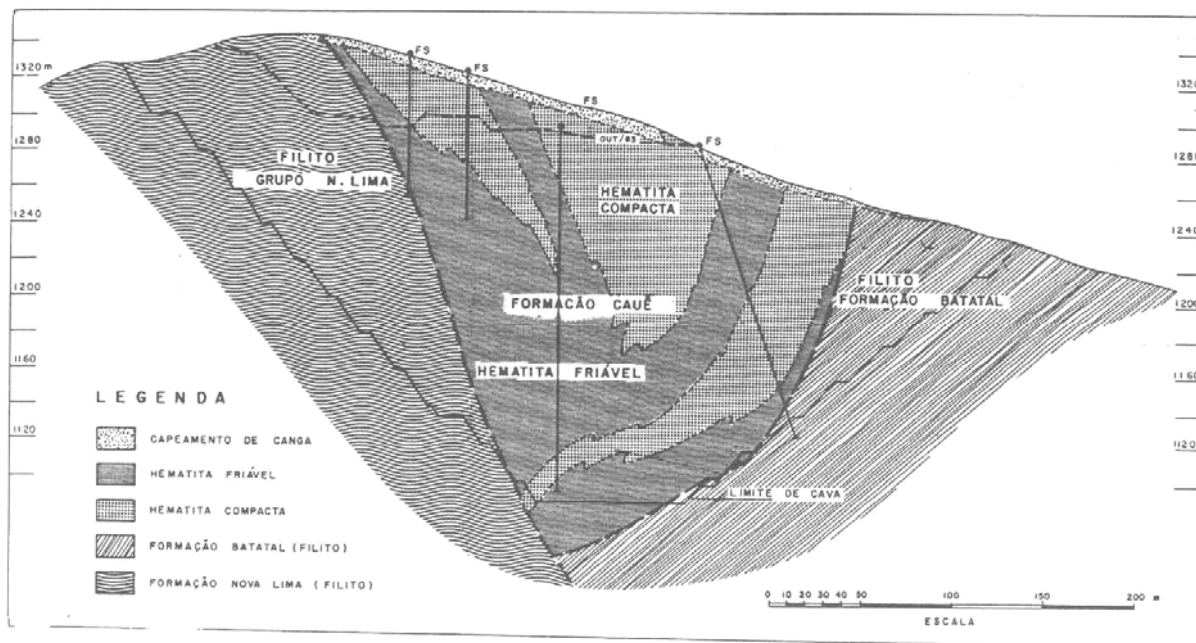


FIGURA 37 – Seção geológica esquemática da mina da Mutuca (apud Gomes, 1986)

Em geral, estes corpos de minério estão contidos em formações ferríferas bandadas presentes no Grupo Nova Lima e são controlados por lineações de estiramento coincidentes com eixos de dobras em bainha ou tubulares, formadas num regime de dobramento plástico (*rheid fold*). Estas dobras apresentam xistosidade de plano axial e são associadas a zonas de cisalhamento quilométricas, relacionadas a uma complexa tectônica de cavalgamento, rampas oblíquas e falhas transcorrentes. Os corpos sulfetados encontram-se no centro dessas zonas de cisalhamento e apresentam dimensões variáveis de 0,5 a 20 m de espessura, 100 a 300 m de largura e 800 a 5000 m de comprimento ao longo da lineação de estiramento. Estas zonas de cisalhamento são acompanhadas por intensa alteração hidrotermal, destacando-se: uma zona de cloritização externa, uma zona de carbonatação intermediária e uma zona interna de sericitização, albitização, silicificação e sobretudo sulfetização.

Às proximidades da superfície, os corpos mineralizados contendo sulfetos (pirita, arsenopirita e pirrotita) são decompostos por intemperismo, liberando o ouro enclausurado nos sulfetos. Este fato é de relevante importância econômica, pois permite o aproveitamento do ouro livre de seu enclausuramento pirítico, mesmo em teores relativamente baixos, por técnica de lixiviação em pilhas.

O segundo tipo de depósito de ouro de importância econômica na APA Sul RMBH reporta-se a depósitos de ouro e urânio na base da Formação Moeda. Este depósito é geneticamente similar aos imponentes depósitos de ouro (com U de subproduto) de Witwatersrand da África do Sul e de urânio de Blind River (Ontário, Canadá).

Os mais importantes trabalhos de pesquisa mineral para este tipo de depósito foram desenvolvidos pela Nuclebrás, visando o urânio, e por várias empresas de mineração, visando o ouro nos sinclinais de Moeda, Gandarela e Ouro Fino. Inobstante os esforços desenvolvidos, até a data não chegaram a obter um depósito viável em termos econômicos.

O ouro ocorre disperso na matriz conglomerática e/ou associado às pirritas, com teores variando de 5 a 10g Au/t. Estes tipos de jazidas continuam sendo pesquisadas por várias empresas entre as mesmas a Anglo Gold e a Iam Gold.

O terceiro tipo de depósito de ouro reporta-se ao ouro contido em zonas de cisalhamento do minério de ferro, em formações conhecidas como jacutinga. A mina mais famosa deste tipo

de minério reporta-se ao ouro de Gongo Soco, depósito extremamente rico, lavrado no período colonial pelo Barão de Catas Altas e que de repente se exauriu. Uma interessante operação deste tipo de minério foi levada a cabo, na mina do Cauê em Itabira, nas décadas de 80 e 90. O minério hoje exaurido era lavrado seletivamente pela CVRD e lixiviado em pilha.

O traçado da APA Sul RMBH praticamente exclui as principais jazidas de ouro relacionadas ao Supergrupo Rio das Velhas/Grupo Nova Lima, englobando tão somente os depósitos de Córrego do Sítio e Cachoeira, ambos em operação, além de umas poucas minas abandonadas, entre elas Faria e Esperança.

7.1.3 Alumínio (Bauxita)

Entende-se por minério de alumínio ou bauxita como uma mistura de óxidos de alumínio formada por intemperismo sobre rochas aluminosas, a partir da lixiviação da sílica em clima tropical ou subtropical. Nas condições de intemperismo prevalentes no Brasil, o principal mineral minério de alumínio é a gibbsita, de fórmula $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, cristalizado no sistema monoclinico.

As principais ocorrências brasileiras de bauxita de grau metalúrgico foram detectadas entre os anos de 1916 e 1917, nas proximidades de Mariana e Belo Horizonte, MG. Em 1931, o professor Theodoro Vaz, da Escola de Minas de Ouro Preto, publicou na revista Anual da Escola de Minas, um estudo sistemático das ocorrências de bauxita do Morro do Cruzeiro e Fazenda Tesoureiro, situados nos arredores da cidade de Ouro Preto. Antevendo a enorme importância da indústria do alumínio no país, o citado autor faz menção a ocorrências de bauxita no Baixo Amazonas, Maranhão, Poços de Caldas, Ouro Preto, Mariana, Santa Bárbara e Cataguases.

A primeira corrida de alumínio em todo o Hemisfério Sul, aconteceu no Quadrilátero Ferrífero, na fábrica de Saramenha, Ouro Preto, em março de 1945. A bauxita desta metalurgia veio do depósito de Morro do Cruzeiro, onde hoje se situa o Campus da UFOP, próximo à Saramenha. Antes desta corrida, lavrou-se bauxita no Quadrilátero Ferrífero para fins de produção de sulfato de alumínio, voltado ao tratamento de águas, em São Paulo.

Assim teve seu início, uma das mais importantes indústrias mínero-metalúrgicas do País, com base nas bauxitas do Quadrilátero Ferrífero e da APA Sul RMBH. Essas bauxitas provém maiormente da decomposição das rochas do Grupo Itabira, particularmente da Formação Gandarela. Minerais portadores de alumínio decompõem-se, gerando num primeiro passo argilas caulíníficas e num segundo passo solos gibbsíticos. Este tipo de jazida é pois lenticular, descontínuo e espalhado sobre as rochas portadoras de alumínio (protominério), dependente dos processos de formação do solo (pedogênese) que lhe dá origem.

Esses depósitos são bastante irregulares e seus teores variam, com baixos conteúdos de alumina por volta de 38% a 40% Al_2O_3 total e baixa sílica, SiO_2 total $\leq 4\%$, e geralmente também baixo ferro ($Fe \leq 5\%$). Alguns destes depósitos são entendidos pelas empresas de mineração como depósitos de argilas refratárias, normalmente quando são baixos os teores de ferro.

7.1.4 Urânio

Os depósitos de urânio associados aos conglomerados basais de Formação Moeda foram intensamente prospectados pela Nucleobrás na década de 70, face às suas propaladas semelhanças genéticas com os depósitos de Au e U do Rand na África do Sul e de Blind River no Canadá.

Em função destes estudos, a Formação Moeda, no Sinclinal de Gandarela, foi subdividida em três unidades, nomeadas pelas siglas I, II e III, da base para o topo. A Unidade I, de

espessura 50 a 100 m, contempla conglomerados e quartzitos fluviais; a Unidade II, intermediária, com espessura de 0 a 50 m, compõe-se de quartzitos finos a médios, maciços e homogêneos, depositados em ambiente marinho; a Unidade III, com espessura de cerca de 150 m, inclui alternância de conglomerados e quartzitos fluviais que gradam para os filitos sericíticos marinhos da Formação Batatal.

As mais importantes mineralizações de Au e U reportam-se aos conglomerados basais da Unidade I, caracterizados pela associação de ouro-uraninita-pirita detríticos.

O urânio pesquisado pela Nuclebrás, ocorre na forma de uraninita detrítica, além de brannerita e coffinita secundária, com concentração de U variando entre 50 e 850 ppm. A pirita constitui-se no mineral mais facilmente identificável da paragênese retro referida.

A Nuclebrás praticamente postergou o estudo deste depósito, face ao encontro de outros depósitos de urânio, mais ricos e mais próximos à superfície e, portanto de exploração mais barata, em outras partes do território brasileiro v.g. Lagoa Real, no Sul da Bahia.

7.1.5 Manganês

Encontram-se, espalhados por vários locais, pequenos depósitos de manganês, relacionados aos metassedimentos do Supergrupo Minas, notadamente ao Grupo Itabira (formações Cauê e Gandarela), subordinamente, ao Grupo Piracicaba (formações Cercadinho e Fecho do Funil) e ao Grupo Caraça.

Esses depósitos são de pequeno porte e gerados pelo enriquecimento supergênico de rochas contendo pequenas quantidades de manganês, levando a massa mineralizada a concentrações que eventualmente chegam a suplantam 40% Mn.

O pequeno porte e a erraticidade desses depósitos aparentemente vêm desestimulando as mineradoras mais tradicionais a pesquisar este tipo de jazimento.

7.1.6 Antimônio

Existe uma pequena ocorrência de antimônio conhecida desde os anos 60, localizada no bairro Olhos D'Água, no limite meridional da cidade de Belo Horizonte. Este depósito foi intermitentemente lavrado, por métodos manuais, na década de 70, sendo que estas operações foram encerradas em função da exaustão das reservas e da ocupação urbana.

Outra ocorrência de antimônio encontra-se assinalada na mina de ferro de Pau Branco, onde ocorre stibiconita preenchendo fraturas de itabiritos.

7.2 Substâncias Não Metálicas

7.2.1 Areias

Existem diversos depósitos de areias na área da APA Sul RMBH, a maioria delas relacionada a aluviões de rios e cursos d' água de menor porte. Depósitos de areias são também gerados pela decomposição de quartzitos, normalmente aqueles relacionados à Formação Moeda.

Estes depósitos são lavrados em pequena escala, normalmente sob o regime de licenciamento junto às prefeituras locais, não carecendo de pesquisa geológica detalhada.

7.2.2 Argilas

Ocorrem depósitos de argilas em vários ambientes geológicos, como aqueles oriundos da decomposição de rochas do complexo granítico-gnáissico, de xistos do Grupo Nova Lima e mesmo de terrenos aluvionares recentes.

7.2.3 Calcários Dolomíticos e Dolomitos

A formação Gandarela é essencialmente formada por calcários dolomíticos e dolomitos, apresentando teores médios da ordem de 19% MgO e 30% CaO. Apenas na pedreira de Acaba Mundo, nos limites urbanos de Belo Horizonte, encontram-se rochas carbonáticas com até 40% MgO, o que caracteriza este material como magnesita.

Essas rochas carbonatadas têm sido explotadas, em pequena escala, como insumos para a agricultura (corretivo de solo), construção civil (pedras de calçamento e brita) e minério para a siderurgia (fundentes, aciaria).

A única mina de dolomito/calcário dolomítico que funciona intermitentemente na APA Sul RMBH é a mina de Extramil, localizada no Sinclinal Gandarela.

7.2.4 Serpentinito

Entre Rio Acima e Piedade do Paraopeba, nos locais denominados Mostarda, Amianto e Extramil, ocorrem afloramentos de serpentinitos usados como brita, fundente para siderurgia e, eventualmente, como pedra ornamental. A única operação hoje ativa reporta-se a Mostarda (ou Córrego dos Boiadeiros), da empresa Pedras Congonhas, visando principalmente a siderurgia.

7.2.5 Granitos

O termo granito é aqui empregado no contexto comercial e não no languagear petrográfico, referindo-se a granitóides, independentemente de possuírem textura isotrópica, foliada ou gnaissificada.

O uso nobre do granito é voltado a pedras ornamentais e, caso não atendam essa condição, podem ser usados como brita.

Nos arredores de Itabirito explotam-se ortognáisses e granodioritos, ligados ao Complexo do Bação.

7.2.6 Outros Minerais

Além das substâncias não metálicas retro mencionadas, citam-se as ocorrências de quartzo, ocre e cianita, eventualmente lavradas em pequeníssimas quantidades.

7.3 Exploração Mineral

A mineração no Quadrilátero Ferrífero e na APA Sul RMBH é uma atividade econômica extremamente competitiva e assim a mesma é geralmente fundamentada com as melhores tecnologias disponíveis.

Essas atividades são conduzidas por profissionais de diferentes especialidades (geólogos, engenheiros de minas, metalurgistas, engenheiros químicos, economistas, cientistas ambientais e especialistas diversos) formados na melhores escolas superiores do Estado de Minas Gerais, do Brasil e do exterior. Elevada proporção destes profissionais possuem pós-graduação em nível de especialização, mestrado ou doutorado. As minerações recorrem continuamente a serviços de projetos e consultorias de empresas especializadas do Estado, do Brasil e eventualmente do exterior. Todos os seus estudos e projetos são submetidos a auditoras nacionais e/ou internacionais, de sorte que se garante, na maioria das vezes, o uso da melhor tecnologia disponível.

As pesquisas dos minérios de ferro e de ouro são baseadas essencialmente em mapeamentos geológicos de superfície e de subsuperfícies, em escalas adequadas e sondagens intensivas. As empresas, em geral, são extremamente cuidadosas com a qualidade dos trabalhos de sondagem, uma vez que caso os mesmos sejam falseados, tudo o que decorre destes serviços fica sob suspeita. Em particular, toma-se muito cuidado com a recuperação das sondagens, usando-se equipamentos novos, máquinas potentes, sempre

operadas por sondadores experientes. Medem-se os desvios dos furos sempre que os mesmos excederem cerca de 150 metros.

Os furos são imediatamente descritos por profissionais competentes, tomando intervalos de sondagem geralmente da ordem 1m (minérios de ouro) ou 3 a 6 metros (minérios de ferro) de comprimento, dependendo da variabilidade do depósito mineral. Estes testemunhos de intervalos de sondagens costumam ser partidos longitudinalmente ao meio com o auxílio de uma serra diamantada, amostrados de acordo com a teoria de Pierre Gy e as amostras obtidas enviadas para os laboratórios de preparação física (minério de ferro) e química (minérios de ferro e ouro). Os resultados dos ensaios tanto físicos (*work index* de Bond, parâmetros metalúrgicos como a recuperação na flotação, índice de seletividade de Gaudin, teores do concentrado, taxas de sedimentação), quanto químicos (teores do mineiro bruto, teores nas faixas granulométricas de interesse) ou mineralógicos (v. g. composição modal) são verificados com todo o cuidado para que não se introduza erros sistemáticos e para manter em valores muito baixos os erros acidentais ligados às amostragens e análises em geral. Cuida-se também para que não haja contaminações, passando, com uma certa regularidade, um material branco (*blank sample*), ou seja um material que não contenha o metal de valor, pelo circuito de amostragem/análise.

De posse da descrição (*log*) dos furos de sonda e dos dados de análises físicas e químicas, monta-se com base em softwares especializados (v.g. ACCESS, ORACLE, SQL) o banco de dados da pesquisa, idealmente isento de erros. Na prática, admite-se banco de dados que não ultrapassem o nível de 1 erro em cada 100 registros (erro menor que 1%). Um banco de dados considerado excelente pode ser aquele cujo nível de erros é ainda inferior ao intervalo de 3 a 5 por mil (3 a 5‰). Para se assegurar que os erros efetivamente não ultrapassem estes limites, costuma-se tomar 5% das amostras, de maneira aleatória, e calcular as estatísticas sobre este conjunto. Caso o percentual de erros seja um valor efetivamente baixo, costuma-se aplicar a conhecida estatística de Poisson (ou estatística dos eventos raros).

Amostras de tamanhos diferentes não são próprias para serem tratadas estatisticamente. Torna-se necessário trabalhar o banco de dados, regularizando as amostras para um comprimento único, geralmente superior ao tamanho médio das amostras. No caso das minas de ferro, costuma-se fazer coincidir o tamanho único com a altura a ser adotada para o banco de lavra (geralmente 10 a 13 metros, para as minas de médio a grande porte no Quadrilátero Ferrífero / APA Sul RMBH). Nas minas de ouro, as bancadas costumam ser bem menores (v.g. 2 a 5 metros), em função da maior heterogeneidade destes minérios, comportando uma maior variabilidade de teores.

Com base nos resultados das amostras e dos testemunhos regularizados (denominados compostos), costuma-se levantar as estatísticas uni e multivariável das magnitudes de interesse, envolvendo geralmente:

- Estatística Univariável
 - Histogramas (simples e cumulativos) dos diversos domínios;
 - Gráficos de probabilidade (normal, lognormal);
 - Diagramas de Box-Whisker para cada uma das variáveis;
 - Estatística descritiva: cálculo do número de amostras, média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação (ou desvio padrão relativo), coeficiente de assimetria (*skewness*) e de agudez de pico (*kurtosis*), valores mínimos e máximos da variável, mediana e quartis inferior e superior.
- Estatística Multivariável
 - Matriz de correlação;
 - Diagrama de dispersão;

- Regressão estatística;
- Gráficos especializados v.g. gráficos quartil-quartil (Q-Q plot) etc.
- Classificação numérica

Envolvendo vários métodos como a Análise Grupal (ou *Cluster Analysis*), Análise dos Componentes Principais, Análise das Correspondências, Análise de Fatores (*Factor Analysis*) etc., correspondendo a métodos matemáticos voltados a classificação de amostras em grupos homogêneos.

Procedidos os tratamentos estatísticos das amostras/compostas, a principal preocupação do geólogo modelador do depósito mineral costuma ser a elaboração do modelo geológico do jazimento em estudo em três dimensões. Há algumas décadas, este trabalho demandava extensa mão-de-obra voltada a desenhos e era feito nos escritórios da mina (no caso de jazidas em lavra) com o auxílio de grandes pranchetas. Modernamente, este trabalho é feito no escritório de geologia da mina, com apoio em programas especializados voltados a projetos mineiros, denominados genericamente Softwares de Mineração. Existem no mercado cerca de meia dúzia destes softwares, de boa qualidade, como o Datamine, Gemcom, Vulcan, MineSight e o Surpac, dentre outros, adotados pelas minerações de todo o mundo, inclusive - como não poderia deixar de ser - pela minas brasileiras, e em particular, pelas minas da APA Sul RMBH.

Assim, com o auxílio do software de mineração escolhido e com o banco dos dados brutos e/ou das compostas, o geólogo da mina costuma fazer primeiramente os desenhos dos perfis geológicos verticais, transversais às estruturas (v.g. perfis norte-sul) e na direção das estruturas (leste-oeste). Numa das técnicas de trabalho, o geólogo da mina promove a extrusão das estruturas dos perfis até a meia-distância entre eles e, em seguida, corta a jazida com um feixe de planos horizontais paralelos. Atua em cada um destes planos horizontais procedendo a concordância das várias estruturas e litologias do jazimento, chegando ao modelo tri-dimensional. N'outra técnica de trabalhos, o geólogo toma as intersecções dos perfis norte-sul e leste-oeste e com o apoio de triangulações de Delaunay constrói o modelo de sólidos (*wireframe*), para cada litologia ou corpo de minério.

Em todos os casos, como produto final do trabalho, obtém-se o almejado modelo tridimensional da geologia do depósito. Com todas as informações e resultados guardados no disco rígido do computador, o geólogo da mina poderá, com muita rapidez, obter:

- cortes geológicos apresentando as litologias e estruturas do depósito, nas direções que bem desejar v.g. norte-sul, leste-oeste, feixes de planos paralelos horizontais e verticais, *fence diagrams* etc.;
- cortes geológicos (v.g. norte-sul), incluindo as informações de pesquisa, v.g. sondagem, amostras de canaletas etc;
- estatísticas diversas, etc.

O trabalho de modelamento exploratório do depósito, porém não pára neste ponto.

- Análise variográfica-estrutural

Um dos passos mais importante e insubstituível para a competente avaliação dos recursos minerais prende-se à denominada análise variográfica-estrutural.

A função variograma é uma ponderada reveladora de estruturas, reportando-se a uma função de autocorrelação de teores, mensurando a dependência dos teores entre duas amostras separadas por uma certa distância (variável) h . Através desta função, torna-se possível conhecer espacialmente até que distância (amplitude variográfica) vai a influência de uma amostra sobre outra. Na maioria dos depósitos minerais, os variogramas são anisotrópicos, dependendo portanto da direção considerada.

Através da função variograma são ainda reconhecidas as diferentes escalas de mineralizações dos depósitos, as quais são denominadas estruturas imbricadas ou aninhadas (nested structures).

Em se tratando de minérios de ferro costuma-se levantar os variogramas não só para os teores do minério bruto (crude), mas também para as diversas partições granulométricas (faixas de minério granulado ou lump ore, finos para sinterização ou sinter feed e finos para pelotização ou pellet feed fines) e para os teores computados nestas granulometrias (na forma de acumulação, isto é partição granulométrica \times teor).

A FIG. 38 apresenta o variograma da fração grosseira (lump ore ou simplesmente LO) de uma importante mina de ferro da APA Sul RMBH. Como se pode ver, o estudo foi feito com muita competência, pois os variogramas encontram-se extremamente bem ajustados.

Observa-se na figura em tela que a jazida é anisótropa em relação à variável considerada (partição grosseira - lump ore). As amplitudes variográficas são respectivamente cerca de 130 e 150 metros na horizontal e da ordem de 40 metros na vertical.

Convém assinalar que variogramas bem modelados levam a avaliações seguras.

No tocante a depósitos de ouro, muito mais variáveis que os depósitos de ferro, os alcances variográficos costumam ser da ordem de algumas dezenas de metros nas direções horizontais (v.g. 40 a 60 m) e não mais do que 20 ou 30 metros na vertical.

- Densidades

A avaliação de recursos/reservas minerais é geralmente referenciada em termos de toneladas e teores e as jazidas de ferro não constituem exceção. Os procedimentos usualmente levados a cabo para esta avaliação envolvem a determinação de: (a) volumes; (b) teores e (c) densidades dos minérios.

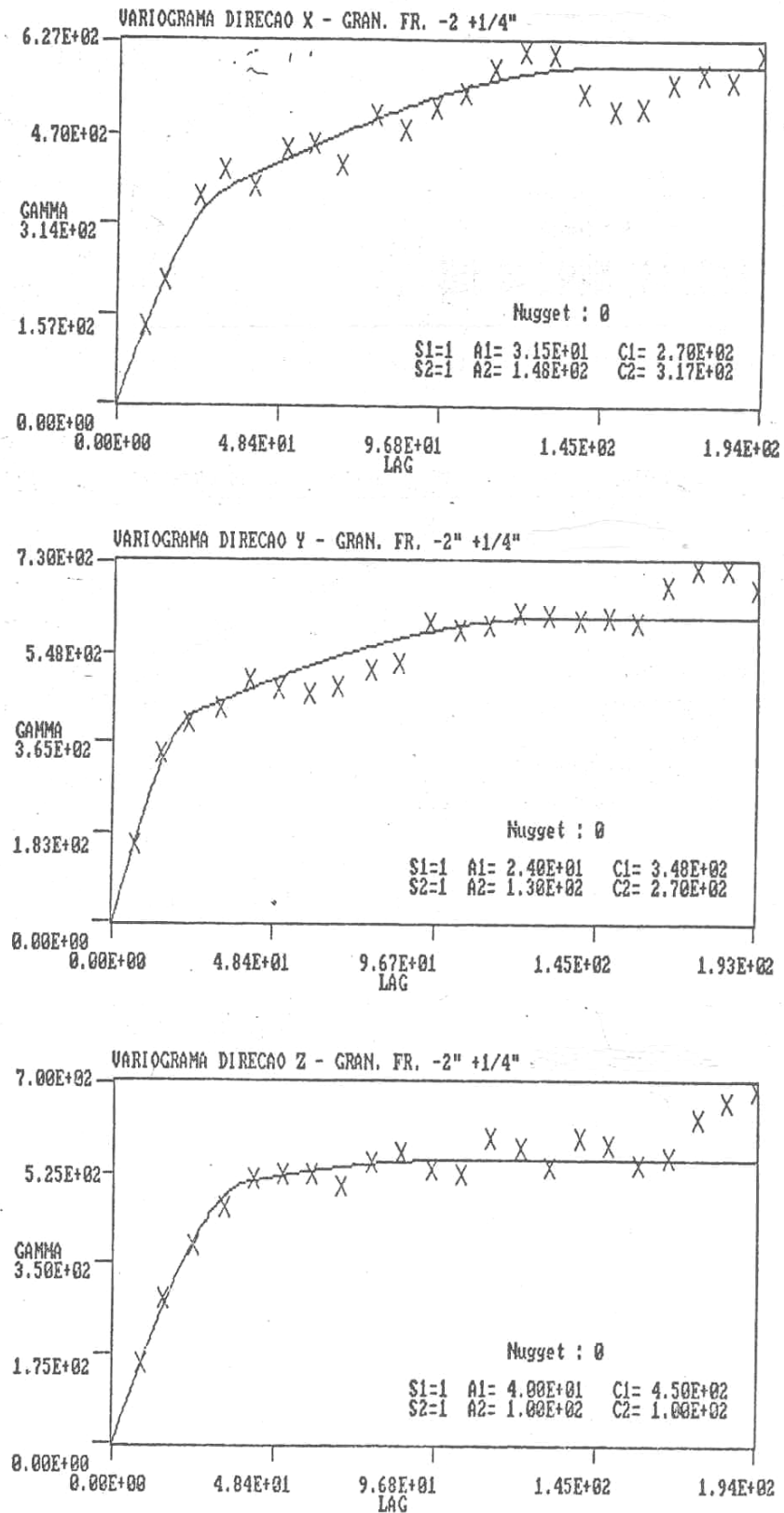


FIGURA 38 - Variogramas da partição grosseira (*lump ore*) de uma importante mina da APA Sul RMBH

Os volumes dos minérios e estéreis de uma jazida ou mina são comumente avaliados através de seções e planos das jazidas, referidos em três dimensões, envolvendo modelamento de sólidos, geralmente suportados por softwares de mineração. Os teores são avaliados através da realização de análises químicas sobre amostras e são modernamente interpolados (ou avaliados em nível de blocos tecnológicos) por krigagem. Finalmente, a conversão de volumes estimados para toneladas estimadas é feita com apoio nas avaliações de densidades (referidas à base seca).

Inobstante, a densidade ser um fator de extrema relevância para cálculo da tonelagem de minério bruto e, por consequência, para o cálculo do produto final gerador de receitas da mineração, algumas vezes esta atividade é feita com pouca atenção. Frequentemente vê-se as densidades dos minérios apoiadas por pouquíssimas determinações ou mesmo, em outras situações, seu valor é assumido por comparação com depósito de similares. Assim, este parâmetro que tem impacto direto na tonelagem de minério estimada, costuma se constituir num ponto de fraqueza na determinação dos recursos/reservas dos diversos jazimentos e transforma-se num assunto geralmente sujeito a críticas que portanto carece de melhorias.

As definições mais básicas voltadas às medidas de densidades de minérios em jazimentos minerais são as seguintes:

- Densidade da amostra base natural (ou base úmida): definida como a razão da massa da amostra ($m = m_s + m_a$), composta de sólidos mais água, sobre o volume da amostra:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- Densidade da amostra na base seca: é a razão entre a massa dos sólidos na amostra sobre o volume da mesma:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V}$$

- Umidade (h) é a razão entre a massa de água sobre a massa de sólidos.

$$h = \frac{m_a}{m_s}$$

O avaliador de recursos/reserva deve se preocupar com a realização de uma grande quantidade de medidas de densidades para bem caracterizar os diferentes tipos de minérios ou minerais industriais e até os estéreis da jazida. Em minas bem desenvolvidas, costuma haver centenas de medidas de densidades para cada tipo de material envolvido. Existem vários métodos voltados a medidas de densidades de rochas e minérios e costumeiramente, eles se subdividem em métodos de laboratório e métodos de campo. Cada um desses métodos possui vantagens e desvantagens, as quais devem ser ponderadas antes de serem implementados na prática. A única forma de minimizar os erros inerentes aos diferentes tipos de determinações é compreender muito bem os princípios dos métodos utilizados e monitorar cuidadosamente todas as medidas realizadas.

Antes de tudo, é muito importante destacar que as amostras usadas nas determinações de densidades devem ser representativas. Se as amostras não forem representativas de nada vale as determinações de densidades, pois perdem quaisquer significados. As densidades dos minérios podem variar com a composição mineral e com a porosidade. Este e outros fatores podem levar a enviesamentos amostrais. Por exemplo, suponha que um veio rico em

cobre tenha sido amostrado em superfície para determinação de densidades. Os teores e as porosidades podem ser muito diferentes destes valores em profundidade e assim, estender as densidades determinadas em superfície para domínios mais profundos pode ser muito perigoso. Um erro de amostragem que acontece com muita frequência é a amostragem preferencial e descuidada de minérios mais duros nas faces e bancadas em detrimento dos minérios mais brandos. Minérios mais duros costumam também ser mais densos e isto pode levar a significativos erros nas estimativas das tonelagens.

Pode-se classificar os métodos de determinação de densidades em jazidas em cinco classes, a saber,:

- a) Determinação da densidade com base em pequenas amostras (vários procedimentos);
- b) Determinação da densidade de minerais em polpas (picnômetro)
- c) Perfilagem densitária geofísica;
- d) Método de larga escala;
- e) Método estequiométrico de determinação de densidade

Foge do escopo deste texto detalhar estas classes de determinação de densidade, remetendo-se todavia o leitor interessado ao excelente texto de Lipton (2001).

As minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero e em especial as da APA Sul RMBH apóiam a determinação das densidades de seus minérios tomando um número muito grande e representativo (geralmente acima de 30) de amostras para cada uma das litologias envolvidas empregando vários métodos. É comum o uso de testemunhos de sondagens para a determinação das densidades amostrais. Nesta técnica impermeabiliza-se a amostra com filme plástico (*vita film*), avaliando-se o seu volume por deslocamento de água ou por método hidrostático (Princípio de Arquimedes). O peso da amostra (base natural) com umidade é simplesmente obtido com o apoio de uma balança comum. O peso seco da amostra é medido pesando se novamente a amostra depois de seca-la numa estufa, por cerca de duas horas, a 105°C. Outras técnicas usadas para a determinação de densidade de minérios reporta-se aos métodos do frasco de areia e métodos de larga escala. Neste último procedimento, as minerações medem os grandes volumes desmontados por topografia convencional, com a ajuda de estação total, pesam os caminhões com os minérios desmontados e avaliam as umidades por amostragem à entrada do britador primário.

Algumas minas de ferro da APA Sul RMBH (Águas Claras, Pico do Itabirito) conseguiram demonstrar que a densidade de seus minérios eventualmente pode ser representada como função do respectivo teor e granulometria. Neste caso a densidade pode ser interpolada por krigagem.

- Modelo de Blocos e Inventário Mineral

Após a análise variográfica-estrutural, subdivide-se o depósito mineral em blocos tecnológicos (também chamados de blocos de planejamento ou blocos de avaliação) de tamanho apropriado face à geologia e a variabilidade dos teores do depósito, bem como à malha de pesquisa e avalia-se, geralmente por krigagem ordinária (KO), o teor e outras características de interesse para cada bloco do modelo.

Os diversos depósitos sempre possuem áreas mais densamente e menos densamente povoadas por trabalhos de pesquisa. De acordo com os padrões internacionais, costuma-se subdividir os recursos avaliados em três categorias denominadas recursos medidos, recursos indicados e recursos inferidos. Os recursos medidos são recursos avaliados em áreas bem pesquisadas, com alto grau de certeza. Os recursos indicados são recursos avaliados em áreas relativamente bem investigadas e são associados a um nível aceitável de certeza. Os recursos inferidos são os recursos avaliados com um menor grau de certeza,

necessitando complementação de pesquisa ou eventualmente deixados de lado face ao eventual baixo teor já constatado.

Os planos mineiros são feitos com base apenas nos recursos medidos e indicados, lembrando que nem todo minério *in situ* é efetivamente extraído do depósito.

Costuma-se expressar os recursos avaliados, medidos, indicados e inferidos, por classes de teores. A lista de todos os blocos tecnológicos com seus teores e outras variáveis de interesse assinaladas costuma ser chamada de inventário mineral do depósito em referência. Os resultados destas avaliações colocados em forma de gráficos costumam ser denominados de curvas de parametrização dos recursos minerais.

A título de exemplo, apresenta-se a TAB. 9, com a síntese dos resultados de uma avaliação antiga, de um importante depósito de ferro da APA Sul RMBH.

TABELA 9 – Resultados de avaliação geoestatística para uma mina de ferro na APA Sul RMBH

Classe de Recurso	Faixa Granulométrica	Recursos		TEORES MEDIOS (%)					
		Massa (Mt)	%	Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	PPC
Medido	-2" +1/4"	67,37	36,48	36,45	0,043	0,65	0,63	0,058	0,49
	-1/4" + 100#	34,58	18,71	18,71	0,040	0,82	1,11	0,095	0,70
	-100#	37,44	20,26	20,26	0,060	1,38	3,09	0,238	1,33
Indicado	-2" +1/4"	7,06	3,82	3,82	0,050	1,41	0,78	0,087	0,96
	-1/4" + 100#	14,39	7,79	7,79	0,029	0,62	0,82	0,104	0,55
	-100#	23,95	12,96	12,96	0,051	1,27	2,06	0,315	1,14
Total	-2" +1/4"	74,43	40,28	40,28	0,043	0,72	0,64	0,061	0,54
	-1/4" + 100#	48,97	26,5	26,50	0,037	0,76	1,03	0,098	0,66
	-100#	61,39	33,22	33,22	0,057	1,34	2,69	0,268	1,26

As principais minas de ferro estabelecidas na APA Sul RMBH vêm praticando (ou tem condições de praticar) boas técnicas de Geologia de Minas (em especial Geoestatística) por várias décadas. Comparadas com outras importantes minerações do mundo, nos vários continentes, pode-se dizer que as técnicas usadas nas minas da APA Sul RMBH, se não superiores são pelo menos iguais àquelas empregadas no modelamento de jazidas e avaliação de recursos nos mais avançados distritos mineiros espalhados por todos os continentes. Em outras palavras, as minerações da APA Sul RMBH contam ou tem condições de contar com profissionais altamente qualificados capazes de implementar modelamento de elevada precisão e otimizar o sistema de forma a garantir a boa conservação do recurso mineral, não-renovável. Infelizmente, esta assertiva é algumas vezes prejudicada por gerenciamento pseudo moderno que no afã de manter os custos baixos cortam profissionais não ligados diretamente à área de produção. Este tipo de erro impõe, com certeza, sérios prejuízos à qualidade do produto, à recuperação das reservas, inclusive reduzindo a vida do empreendimento mineiro.

7.4 Processamento de Minérios e Extração Metalúrgica na APA Sul RMBH

Seguramente, o minério mais importante na APA Sul RMBH é o ferro. Bem distante do ferro, segue o ouro, e depois do metal nobre, guardando maior distancia ainda, vem a bauxita, o serpentinito etc.

7.4.1 Beneficiamento dos Minérios de Ferro

O beneficiamento de minérios de ferro em praticamente todo o mundo - e o Brasil não constitui exceção - tem sido movido por dois fatores principais, a composição mineralógica do minério e as especificações exigidas pelos compradores, seja ele doméstico ou transoceânico. O cenário vigente é o progressivo abaixamento dos teores dos minerais-minério nas jazidas associado a exigências, cada vez mais rígidas, do mercado, acarretando a necessidade de se baixar todos os custos de produção de tal maneira a manter a competitividade do negócio e se possível aumentar o *market share* do empreendimento. A

resposta a esse intrincado cenário tem sido a combinação dos métodos de concentração de minérios de ferro, a busca de melhorias nas tecnologias existentes, um conhecimento mais profundo dos minerais envolvidos no processo e a implementação de sistemas avançados de controle de processo que permitam a menor variabilidade das principais características de qualidade dos produtos.

Além das técnicas correntemente usadas, cada vez mais de forma combinada, tem-se tentativas de combinação de diferentes procedimentos de concentração em um único aparelho, da forma proposta por [Ersayin e Iwasaki \(2002\)](#) que levaram a cabo testes em escala de bancada e piloto, aplicando um campo magnético na flotação catiônica de sílica em um minério taconito-magnetítico. Ensaio com separador multigravítico e microorganismos para bioflotação indicam também possíveis caminhos de beneficiamento para alguns minérios Indianos, de acordo com [Yerriswamy et al \(2003\)](#) e [Natarajan e Nasnita \(2003\)](#), mas por enquanto tais métodos não passam de conjecturas. Levando-se, todavia, em conta equipamentos para uso em escala industrial, as técnicas de concentração magnética, gravítica e flotação ainda reinam absoluto sem concorrentes nas usinas de beneficiamento de todo o mundo, não se percebendo ainda algum trabalho que leve à eventual quebra das tecnologias existentes.

Em seqüência, procede-se a uma rápida revisão dos principais métodos de concentração de minérios de ferro usados em nosso país, ressaltando-se a correlação entre mineralogia e técnicas de concentração ou de combinações de técnicas que pode ser útil para a compreensão e redefinição de rotas de processo nas usinas existentes e em novas usinas. Deve-se, porém, ter sempre em mente que um minério específico pode exigir modificações, adaptações ou melhorias das técnicas atuais, de tal maneira que não se encontram referências para tal nas soluções já implementadas nas usinas atuais ou na literatura existente sobre o assunto. A compreensão do comportamento dos minerais em função das condições a que estão submetidos, em cada processo, deverá sempre ser objeto de pesquisas detalhadas para que as soluções de problemas de processo possam garantir da forma mais adequada para todos o sucesso das operações de beneficiamento.

Como se sabe, no Brasil as duas principais regiões produtoras de minérios de ferro são o Quadrilátero Ferrífero no estado de Minas Gerais, da qual a APA Sul RMBH é parte, e a Província Mineral de Carajás no estado do Pará. O minério, em ambas províncias minerais, apresenta-se sob a forma de minérios hematíticos (*hematitas*) compactos e friáveis e de itabiritos geralmente friáveis. As principais espécies minerais de ferro presentes nestes minérios são a hematita, goethita (limonita), magnetita e hematita martítica (martita) enquanto que os principais minerais de ganga são o quartzo, caulinita, gibbsita e outros silicatos portadores de alumina. O fósforo aparece normalmente com o mineral goethita em minérios com maior grau de hidratação e de forma intimamente associada não existindo rigorosamente maneira de ser retirado durante o beneficiamento. Existem várias classificações dos minerais de ferro e de ganga, dependendo de sua granulometria, estrutura, textura e outras características definidas em relação ao comportamento dos mesmos nos processos de classificação e concentração.

As minas do Quadrilátero Ferrífero, em sua maioria, empregam métodos de concentração magnética, gravítica e flotação, tanto de forma isolada como combinação destes métodos, para a produção de *sinter feed* e *pellet feed*. As Colunas de flotação, inicialmente introduzidas nas plantas da região no início da década de 90, são usadas em combinação com células convencionais ou de forma isolada e em pelo menos uma das operações mostraram a possibilidade de se recuperar lamas que anteriormente eram descartadas como rejeito.

Separadores magnéticos de alta intensidade e gradiente (WHIMS/HGMS) já eram usados antes das colunas e eventualmente foram associados à flotação. Mais recentemente o Ferrous Wheel (FWMS) foi introduzido em uma das operações assim como Tambores

Magnéticos de Terras Raras (ARAÚJO *et al.*, 2002). Espirais e jigues são usados em alguns casos. O QUADRO 3 relaciona os métodos usados, tipo de equipamento, fabricante e as empresas que os usam. Um dos fluxogramas mais elaborados é o da mina de Conceição onde são combinados jigagem, separação magnética, espirais, flotação convencional e por coluna.

QUADRO 3 - Métodos de concentração de minérios de ferro brasileiros
(Apud, ARAÚJO *et al.*, 2002)

<i>Métodos usados</i>	<i>Tipo de equipamentos</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Empresas que utilizam</i>	<i>Resultado/produto</i>
Flotação catiônica reversa	Célula mecânica	Wemco	Samarco	<i>Rougher, cleaner, scavenger</i>
	Célula mecânica	Wemco/Outokumpu	CVRD	<i>Scavenger</i>
	Célula coluna	CPT, Minnovex, Baker & Hughes	MBR, CSN	<i>Rougher, cleaner, scavenger</i>
			CVRD	<i>Circuito combinado(cleaner)</i>
			Samarco	<i>Concentração de lamas</i>
Separador magnético alta intensidade e alto gradiente	WHIMS - Jones matriz	Humboldt	CVRD, Ferteco	<i>Concentração sinter feed e pellet feed(combinação com flotação)</i>
	FWMS - matriz	Eriez-INBRÁZ	MBR	<i>Pellet feed - teor alumina maior que sílica na alimentação</i>
Separador magnético média intensidade	Separador tambor terra rara úmido	Eriez-INBRÁZ	MBR, Ferteco	<i>Sinter feed – minerais de ganga com alumina e fósforo</i>
Jigagem	Tipo Rammer	Baker & Hughes	CVRD	<i>Sinter feed + 1mm</i>
	Ar - pulsante	BATAC	FERTECO	<i>Sinter feed + 1mm</i>
Espirais	Espirais 7 e 5 voltas	MD e AKAFLEX	CVRD, MBR e FERTECO	<i>Sinter feed fino - 1 mm</i>

A título de ilustração são apresentadas as FIG. 39 e 40 que mostram, respectivamente, um circuito combinado de célula convencional com a coluna da Samarco Mineração (situada fora dos limites da APA Sul RMBH) e o circuito de separação magnética da mina de Mutuca da MBR. Ressalta-se que no complexo do Pico são usadas espirais e colunas

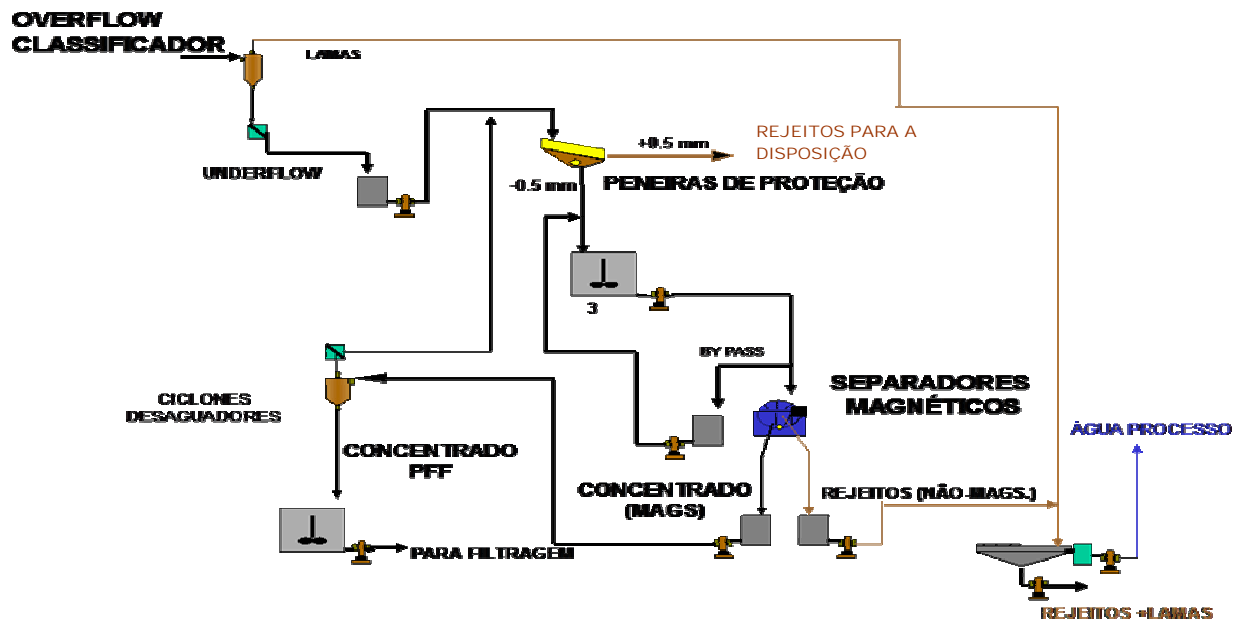


FIGURA 40 – Circuito de separação magnética da Mina da Mutuca

Pode-se afirmar que as instalações de tratamento de minério de ferro das principais minerações do país são bem concebidas, construídas, operadas e mantidas o que lhes confere elevados desempenhos de processo. Em todas as instâncias, estas instalações produzem além dos concentrados comercializáveis, lamas de processo, naturais ou artificiais, representativas das frações finas e difíceis de se concentrar, e rejeitos das operações de separações hidrogravíticas, magnéticas e flotações. As lamas e rejeitos são estocadas cuidadosamente, para atenuar o impacto no meio ambiente.

7.4.2 Lixiviação em Pilhas de Minérios Oxidados de Ouro

Em linhas gerais no processo de lixiviação, o minério superficial oxidado é cuidadosamente empilhado em leitos devidamente revestidos com geotextil e lixiviado com uma solução diluída de cianeto de sódio que ataca quimicamente o ouro, colocando-o em solução (*pregnant solution*). O circuito corresponde à operação conjunta de três pilhas: enquanto uma encontra-se em processo de lixiviação, a outra está sendo encharcada com água para entrar mais tarde em produção e uma terceira pilha vem sendo lavada, para a retirada de cianeto remanescente, antes de seu descarte final. Vale ressaltar que todo o sistema é fechado, não permitindo o escape do cianeto para o meio exterior.

A solução carregada (*pregnant solution*) é passada por uma série de colunas de adsorção, com carvão ativado. A solução flui no sentido da corrente e o carvão é movido por dispositivos diversos, v. g. venturi, contra a corrente. Em contacto com a solução rica (*pregnant solution*), o carvão carrega-se de ouro, chegando a atingir e até ultrapassar a taxa de 10 kg Au / t de carvão.

O carvão carregado, na primeira coluna, é retirado do circuito das colunas de adsorção e transferido para as colunas de dessorção. Esta operação é também chamada de *stripping* ou eluição, onde é levada a cabo a extração do ouro do carvão ativado. Existem vários processos para realizar esta operação unitária, o mais comum deles reporta-se ao arranque do ouro dos poros do carvão, com auxílio de uma solução de cianeto cáustico aquecida a cerca de 120°C.

O ouro retirado do carvão, sob a forma de uma solução límpida, segue à eletrólise depositando-se no catodo, implementado na forma de palha de aço. O produto da eletólise é de tempos em tempos retirado e fundido finalmente na forma de lingotes (bullion)

comerciáveis em um forno de fusão. Como forma de ilustrar o processo, apresenta-se na FIG. 41 um fluxograma típico de lixiviação de minérios de ouro oxidados, usado no passado pela mina de Faenda Brasileiro, município de Teofilândia, Bahia e que é comparável aos processos empregados atualmente na APA Sul RMBH.

Este processo hidrometalúrgico, foi concebido, desenvolvido e demonstrado por J. B. Zadra e seus colegas dos laboratórios do U. S. Bureau of Mines de Salt Lake City e Reno, USA, no final dos anos 60, início dos anos 70. Foi inicialmente recusado por uma importante empresa consultora/projetista norte-americana para implementar a metalurgia da mina de Cortez, Nevada, e quase caiu no descrédito. No entanto, os russos aplicaram o processo em algumas de suas minas de ouro o que despertou o interesse geral. Assim, os processos de lixiviação em pilha (*heap leaching*) de minérios de ouro e adsorção de carvão em polpa (*charbon in pulp*) passaram a ser a grande estrela da metalurgia do ouro, usados ubiquamente no Canadá, Austrália, África, USA, Brasil etc. Não se tem notícias de problemas de saúde e ambientais relacionados a esta técnica, quando aplicadas com os devidos cuidados.

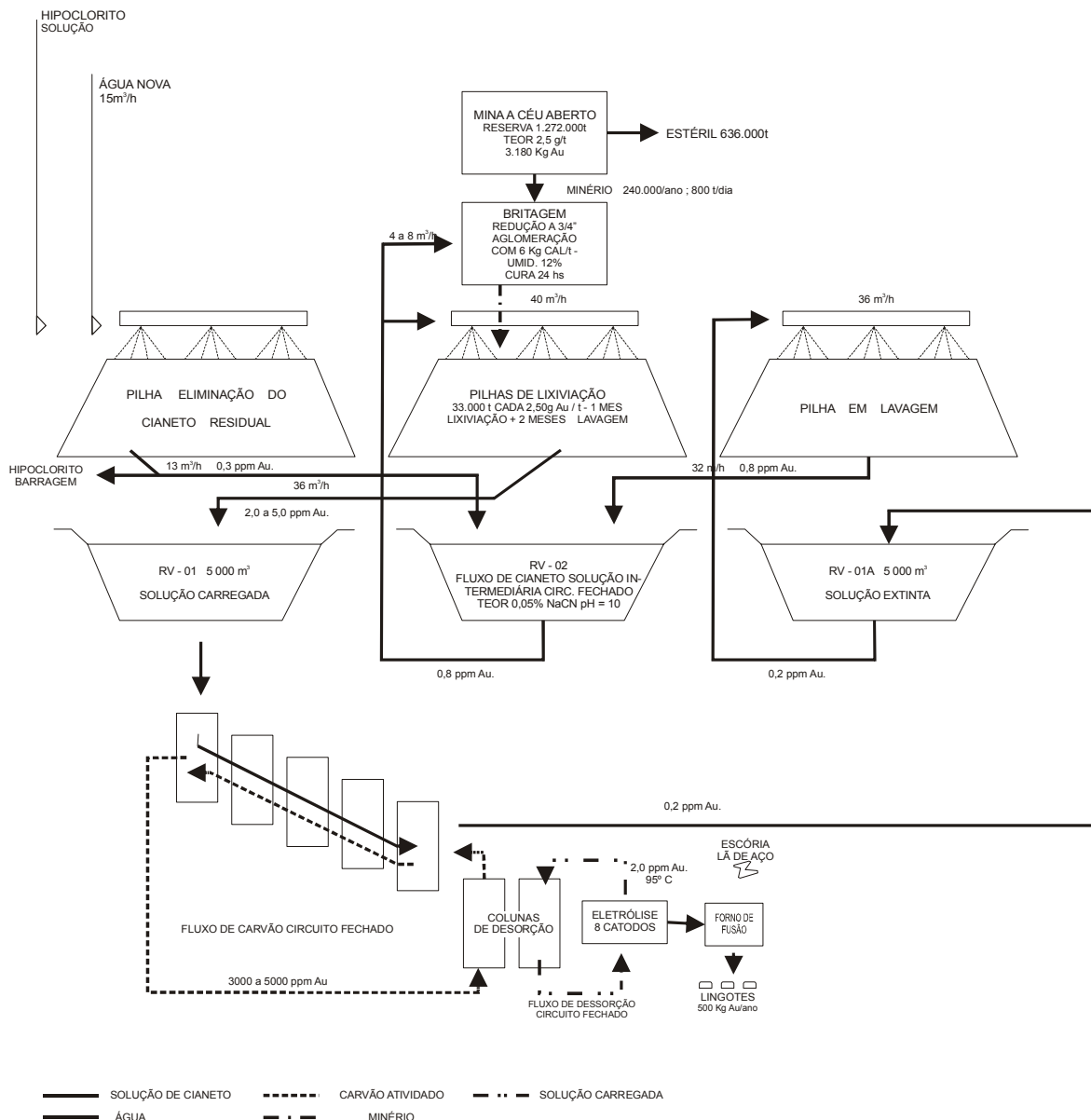


FIGURA 41 – Fluxograma de processo de lixiviação em pilha em Fazenda Brasileiro, Teofilândia-BA.

8. MINERAÇÃO NA APA SUL RMBH E OS IMPACTOS ASSOCIADOS

Este capítulo trata do tema mineração (no seu senso lato) na APA Sul RMBH e os impactos associados a essa atividade.

A região denominada Quadrilátero Ferrífero, da qual APA Sul RMBH faz parte, é conhecida mundialmente por sua riqueza mineral e foi estudada ao longo dos anos por uma pletera de excelentes profissionais ligados às ciências da terra e à mineração, como Eschwege (1833), ainda no século XIX e, mais recentemente, nos séculos XX e XXI por D. Guimarães, J. Dorr II, M. Teixeira da Costa, A. L. M. Barbosa, E. Ladeira, J. H. Grossi Sad além de outros mais novos.

Como se encontra registrado na história, a região atraiu os bandeirantes à procura de ouro desde o século XVII e, já no século seguinte, os depósitos superficiais, de enriquecimento secundário, foram explorados, por métodos rudimentares.

O interesse pelo ferro praticamente teve seu início com a vinda do Barão von Eschwege ao Brasil e com a construção da primeira fábrica do ferro em território nacional, denominada Fábrica Patriótica, instalada em Congonhas, onde hoje opera a Mina de Ferro da Fábrica hoje pertencente à Companhia Vale do Rio Doce - CVRD.

A singularidade e a importância do Quadrilátero Ferrífero não escapou à observação perspicaz de Gorceix, que assinalou (IBRAM, 2003):

"O solo desta província attrahe o olhar e a atenção do viajante, ainda o mais indiferente; o minério de ferro mais rico que existe no mundo se acha espalhado por quase toda parte guardando em seu seio riquíssimas minas de ouro ... com verdade pode dizer que Minas é o coração do Brazil, coração de ouro encerrado em um peito de ferro." (sic, grafia original do próprio H. Gorceix)

Assim, estes dois bens minerais, primeiramente o ouro e depois o ferro, foram (e ainda são) os principais responsáveis pelo desenvolvimento desta região de Minas Gerais, com profundos reflexos para todo o Estado e também para o resto do País. Há que se convir que não se fabrica automóveis sem chapas de aço e estas vêm do minério ferro das Minas Gerais. É, pois, muito evidente a contribuição de indústria de mineração de Minas Gerais para com o desenvolvimento de novos pólos mineradores em outros estados da federação, como o Pará (ferro em Carajás, bauxita em Trombetas, caulim em Ipixuna e Monte Dourado), Goiás (fosfatos de Catalão, níquel de Niquelândia e Barro Alto, amianto de Minaçu), Bahia etc.

De acordo com as informações oficiais, o DNPM apresenta para o ano de 2000, um valor da Produção Mineral Brasileira (PMB), excluído o petróleo e o gás, da ordem dos R\$ 13,0 bilhões (ou US\$ 7,1 bilhões) o que confrontado com o produto interno país (PIB), equivalente a R\$ 1.089,7 no ano de referência, corresponde a um percentual de 1,22. Esta proporção é baixa, se comparada com a proporção verificada em países com geologia semelhante à geologia brasileira, como os valores observados para a África do Sul (11,6%), Austrália (4,6%) e Canadá (2,3%), dentre outros.

Ainda segundo o DNPM, o valor da produção mineral computado no setor industrial situado imediatamente a jusante da mineração, alça casa dos R\$105 bilhões, o equivalente a cerca de 9,6% do PIB, alavancando significativamente o progresso do país

No mesmo ano, Minas Gerais produziu R\$ 4,473 bilhões, o que representa cerca de 35% da PMB brasileira, valor esse extremamente expressivo, mostrando a forte tradição do Estado no setor mineral. A maior proporção do valor retro assinalado certamente vem do Quadrilátero Ferrífero. Nos municípios de APA Sul RMBH estão concentrados cerca de 32% do valor de produção mineral do Estado e esta produção corresponde a aproximadamente R\$ 1,43 bilhões. Para que se tenha uma noção deste valor, basta dizer que o mesmo equivale a toda importação brasileira de trigo ou à compra de todos os remédios efetuados pelo Brasil no mesmo período.

O rico potencial da área da APA Sul RMBH é evidenciado pelo fato de que cerca de 77% da área estar coberta por títulos minerários, onde 25% correspondem a autorizações de pesquisa e 52% a manifestos de minas e concessões de lavras. Existem poucos lugares no mundo com áreas tão solicitadas por atividades minerárias como a área em estudo e isso somente ocorre devido à potencialidade mineral da área.

Conforme visto no capítulo precedente, o recurso mais importante na APA Sul RMBH reporta-se ao minério de ferro, em segundo lugar o ouro, vindo as outras comodidades bem atrás destes dois bens minerais.

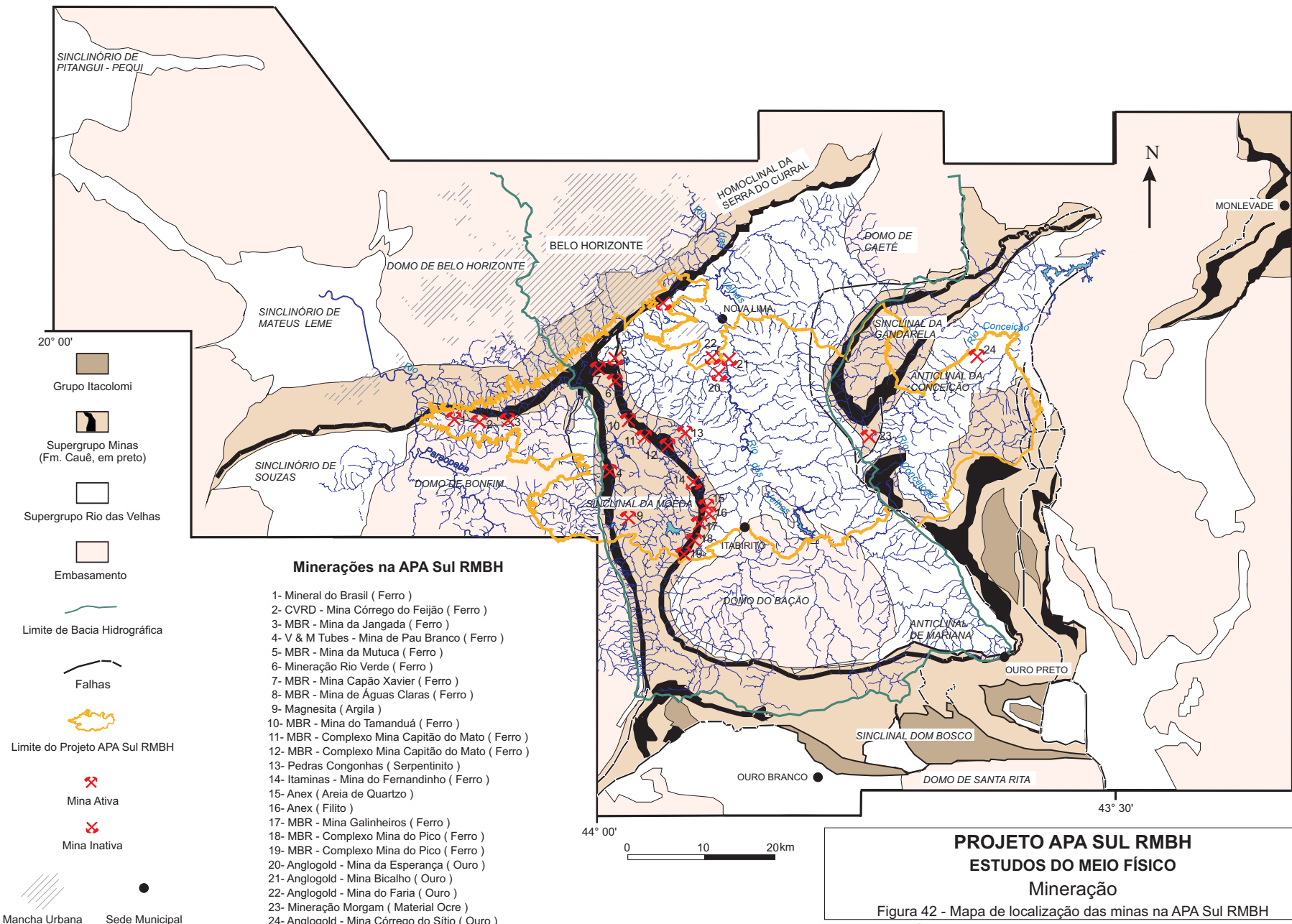
A [TAB. 10](#) e a [FIG. 42](#) mostram as principais minas da região. Em seqüência fornece-se uma descrição das principais minerações estabelecidas na sua em tela.

8.1 Minerações de Ferro

As minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero (e da APA Sul RMBH) encontram-se sobre os metassedimentos ferruginosos da Formação Cauê, que afloram nas cristas da Serra da Moeda e da Serra do Curral. A área em estudo possui minas de todos os tipos, algumas de grande porte (v.g. Pico do Itabirito, Tamanduá–Capitão do Mato), outras de médio porte (v.g. Pau Branco e Rio Verde), ou ainda minas pequenas (Mineral do Brasil). Algumas reservas de minério de ferro já se encontram totalmente exauridas (v.g. Águas Claras, Mutuca e Capanema), outras em adiantado estágio de exploração (v.g. Pau Branco), outras maduras (v.g. Pico do Itabirito) e outras iniciando a produção (v.g. Capão Xavier), de sorte que se tem uma ampla diversidade de situações. Em termos de tecnologia algumas minerações empregam a mais moderna técnica disponível (*cut edge state of art*) porém, infelizmente outras minerações, geralmente as menores e mais pobres, são carentes de tecnologia atualizada. Em termos práticos, as grandes minerações atuantes no Quadrilátero Ferrífero têm dinheiro para buscar os melhores consultores nacionais e internacionais, enquanto que as minas mais pobres passam por dificuldades econômicas e muitas freqüentemente decidem de improviso, pois não têm suficientes recursos para despendem em tecnologia.

TABELA 10 - Principais Minas da APA Sul RMBH

Minas	Minério	Método de Lavra	Produção Mina (ROM)	Produtos (concentrados)
Pico do Itabirito	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 17Mt Estéril: 23 Mt	<p><u>Métodos:</u> várias instalações de tratamento de minério envolvendo varios processos entre eles concentração gravítica, magnética e flotação. <u>Produtos:</u> LO + Hematitinha: 15 Mt Sinter Feed: 23 Mt Pellet Feed Fines: 8 Mt Total: 45 Mt</p>
Tamanduá	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 11Mt Estéril: 17 Mt	
Capitão do Mato	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 12Mt Estéril: 13 Mt	
Capão Xavier	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 9 Mt Estéril: 7 Mt	
Jangada	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 5Mt Estéril: 7 Mt	
Aboboras	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 2Mt Estéril: 2 Mt	
Córrego do Feijão	hematita e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 9,4 Mt REM: 1,5:1 (t/t)	
Rio Verde	Hematitas e itabiritos	Céu aberto por bancadas Operações: perfuração, desmonte carregamento e transpote	Minério: 3,15Mt Estéril: 5,84 Mt	Duas ITMs: ITM-3 (via úmida) e ITM-4 (via seca). Produtos NPO, hematitinha e sinter feed acima de 64%Fe.
Pau Branco	Hematitas	Ceu aberto por bancadas de 10m	Minério: 2Mt REM: alta	Produtos : LO, SF de alto teor
Córrego do Sítio	Minério de ouro (FFB aurifera)	Céu aberto por bancadas de pequena altura	Minério: 240kt/ano	Lixiviação em pilha (heap leaching) tradicional. Escala 20kt/mês



Minerações na APA Sul RMBH

- 1- Mineral do Brasil (Ferro)
- 2- CVRD - Mina Córrego do Feijão (Ferro)
- 3- MBR - Mina da Jangada (Ferro)
- 4- V & M Tubes - Mina de Pau Branco (Ferro)
- 5- MBR - Mina da Mutuca (Ferro)
- 6- Mineração Rio Verde (Ferro)
- 7- MBR - Mina Capão Xavier (Ferro)
- 8- MBR - Mina de Águas Claras (Ferro)
- 9- Magnesita (Argila)
- 10- MBR - Mina do Tamanduá (Ferro)
- 11- MBR - Complexo Mina Capitão do Mato (Ferro)
- 12- MBR - Complexo Mina Capitão do Mato (Ferro)
- 13- Pedras Congonhas (Serpentinó)
- 14- Itaminas - Mina do Fernandinho (Ferro)
- 15- Anex (Areia de Quartzo)
- 16- Anex (Filito)
- 17- MBR - Mina Galinheiros (Ferro)
- 18- MBR - Complexo Mina do Pico (Ferro)
- 19- MBR - Complexo Mina do Pico (Ferro)
- 20- Anglogold - Mina da Esperança (Ouro)
- 21- Anglogold - Mina Bicalho (Ouro)
- 22- Anglogold - Mina do Faria (Ouro)
- 23- Mineração Morgam (Material Ocre)
- 24- Anglogold - Mina Córrego do Sítio (Ouro)

**PROJETO APA SUL RMBH
ESTUDOS DO MEIO FÍSICO
Mineração**

Figura 42 - Mapa de localização das minas na APA Sul RMBH

A principal empresa de mineração atuante na APA Sul RMBH é a Minerações Brasileiras Reunidas – MBR), muito bem estabelecida na região. Em um segundo plano, vem a Cia. Vale do Rio Doce que só numa época mais recente adquiriu a mina do Córrego do Feijão, outrora pertencente à Ferteco Minerações (Grupo Thiesen). Depois destas minas vêm outras operações menores como a Mina do Pau-Branco, propriedade da V&M Mineração (Grupo Mannesmann), a Rio Verde, a Mineral do Brasil etc.

Descreve-se a seguir, sem adentrar em maiores detalhes técnicos por questão de limites de espaço, as diversas minas e/ou complexos mineiros operantes na APA Sul RMBH, dos maiores para os menores, das mais velhas ou até com reservas exauridas e muito bem conhecidas para as mais novas, recém abertas ou que estão ainda para entrar em produção. Acrescenta-se que é impossível esgotar este assunto, remetendo o leitor que queira se aprofundar na questão à ampla literatura técnica divulgada em congressos de geologia, encontros de engenharia de minas e publicação de revistas especializadas.

Até a primeira metade da década de 70, as minerações interessavam-se, tão somente pelo minério de ferro rico, ou seja, pela hematita (ou usando um termo mais apropriado, pelo hematítico). A partir da data mencionada, com a gradativa exaustão do minério de melhor qualidade, as atenções voltaram-se para os minérios pobres (os itabiritos).

Dentro de poucos lustros não haverá mais hematita no Quadrilátero Ferrífero e as empresas de mineração não terão outra saída senão explorar os itabiritos, notadamente os ricos e brandos. Todas as mais importantes empresas de mineração estão hoje investindo pesado no desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento de minérios de ferro de baixo teor (itabiritos).

8.1.1 Mina de Águas Claras

A mineração de ferro de grande porte, na APA Sul RMBH (e também de certa forma no Quadrilátero Ferrífero) teve seu início na primeira metade da década de 70. Assim, no começo dos anos 2000, ocorreram importantes fechamentos de minas em virtude da exaustão das reservas. Entre as minas desativadas na área em estudo destacam-se as operações de Águas Claras e Mutuca, importantes unidades operacionais da MBR.

De uma forma simplista, pode-se considerar o depósito de Águas Claras com uma megalente de hematita encaixada em rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, estratigraficamente invertido. A referida mega-lente possuía aspecto tabular, composto em sua maior parte por minério macio (cerca de 80%) e os 20% restantes divididos entre minério compacto e médio. A lapa é formada por itabiritos silicosos e dolomíticos ao passo que a capa, por filitos, e quartzitos, do Grupo Caraça e xistos do Grupo Nova Lima.

A direção geral das camadas é N45°E e o mergulho é variável de 30° a 70°SE. O corpo de minério possuía uma extensão de 1.700 m, uma espessura de 250m e uma profundidade de 500 ou 600 m.

A jazida foi pesquisada através de 42 galerias (cerca de 4.800 m) e notadamente 193 furos de sonda, totalizando 24.000m perfurados (representando pouca sondagem pelos padrões de hoje). Estes trabalhos permitiram que se avaliassem cerca de 300 milhões de toneladas de minério de ferro alto teor (\cong 68% Fe), valor confirmado com alto grau de precisão pela lavra do depósito. A relação estéril/minério girou por volta de 0,83 (t/t).

A Mina de Águas Claras desempenhou um importantíssimo papel no desenvolvimento de tecnologia para mineração de ferro do país. Foi a primeira mina de ferro brasileira a usar o computador (no início da década de 80) para propósitos de desenhos geológicos (Software Arc Info). Foi também pioneira, dentre todas as minas de ferro do país no uso da Geoestatística (variografia e krigagem), na otimização computadorizada de cavas (Software Multipit, baseado no algoritmo de análise convexa ou parametrização dos contornos finais

de Matheron, Marechal e Bongarçon), no seqüenciamento de lavra pela via estacionária (conforme algoritmo desenvolvido por Valente, Campos e Girodo), o que garante não só a estabilidade da produção e a extensão da vida na mina mas também, a maximização do fluxo de caixa do projeto etc.

À medida que a Mina de Águas Claras aprofundou, interceptou o nível de água subterrânea, e assim, foi obrigada a desenvolver trabalhos de Hidrogeologia Aplicada e Técnicas de Rebaixamento do Nível de Água e, fez isto com grande competência e sucesso. Estes conhecimentos técnicos foram extrapolados para várias outras minas e distritos minerais do Estado e do País.

A Mina de Água Claras foi a principal operação da MBR nas décadas de 70 a 90, chegando a produzir anualmente cerca de 14 milhões de toneladas de produtos (granulados e finos, notadamente o “sinter feed”, de alto teor).

A lavra foi toda conduzida a céu aberto, por bancadas de 13 m de alturas, com equipamentos de grande porte (FOTO 15)



FOTO 15 – Mina de Águas Claras, hoje desativada

O minério de Águas Claras possui a seguinte composição típica (Gomes, 1986)

Granulometria	%	Análises Químicas (%)			
		Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂
+1/4"	19,7				
+100#	46,7	68,0	0,04	1,0	0,7
-100#	33,6				

O tratamento do minério foi feito em uma instalação muito bem construída, consistindo essencialmente de lavagem do minério rico produzido pela mina. O processamento do minério iniciava-se pela fragmentação ou cominuição (britagem, moagem) a qual era seguida de separação por tamanhos com apoio em peneiras vibratórias para obtenção do produto granulado grosseiro, denominado LO ou *lump ore*, e por classificadores espirais

para obtenção da alimentação de sinter, SF ou *sinter feed* e, finalmente, pela eliminação das lamas com auxílio de conjuntos de hidrociclones, obtendo-se assim os finos para pelotização (PFF ou *pellet feed fines*).

A FIG. 43 apresenta o fluxograma da planta de beneficiamento de Águas Claras, hoje desmontada.

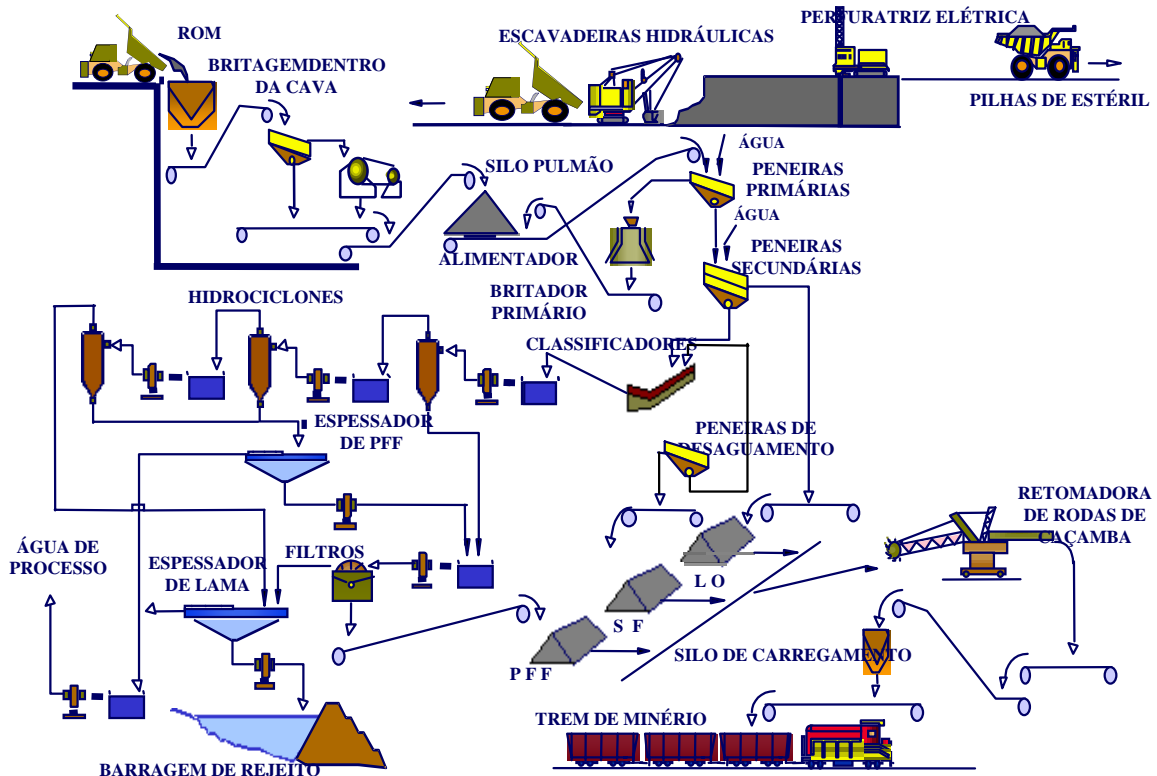


FIGURA 43 - Fluxograma do beneficiamento de Águas Claras

Os produtos comercializáveis da Mina de Águas Claras eram transportados por via férrea até o terminal da Ilha de Guaíba, no estado do Rio de Janeiro, seguindo ao exterior por navios de médio e grande calado.

No início da vida da mina não havia mercado para produtos finos e assim os mesmos foram estocados em barragens de rejeitos (e de lama). Estuda-se hoje a recuperação deste produto.

Águas Claras foi a primeira grande operação mineira nacional, com o depósito exaurido e agora em fase de desativação (fechamento, descomissionamento). A equipe técnica da empresa, ciente da importância deste fato, planejou e está executando todas as operações de desativação com extremo cuidado.

Cumpra aqui ressaltar que o fechamento de operações minerais é descrito no capítulo de meio ambiente da Constituição Federal, art. 225, ao estabelecer em seu parágrafo 2º que reza:

“Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão competente, na forma da Lei.” (sic)

Ainda, por outro lado, o Decreto 97.632 de 10/04/1989 exigiu que todos os empreendimentos elaborem e cumpram um PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas.

Assim, em consonância com a legislação e consciente de que a mineração é uma ocupação transitória do solo, a equipe de MBR cuidou da elaboração e submeteu a FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais, um estudo bastante abrangente e completo de descomissionamento da mina de Águas Claras.

Completando todo este conjunto de ações, o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, emitiu a portaria N° 237, de outubro de 2001, aprovando as Normas Reguladoras de Mineração (NRM-20) e que trata da suspensão e fechamento de mina e retomada de operações mineiras. Esta norma ainda obriga que o Plano de Fechamento de Mina faça parte integrante do PAE - Plano de Aproveitamento Econômico do empreendimento em questão, incluindo o monitoramento do meio ambiente, após a operação mineira estar encerrada.

Seguindo os melhores preceitos tecnológicos disponíveis, a MBR está descomissionando com extremo sucesso a sua mina de Águas Claras. Todos os taludes naturais, artificiais e de pilhas de estéril estão passando por uma revisão e reforço de suas estabilidades. A operação mais importante, prende-se ao enchimento lento do lago que ora está se estabelecendo na cava da mina que segundo os estudos limnológicos, face à sua profundidade, terá águas azuis turquesa e certamente constituir-se-á num importante atrativo da região.

8.1.2 Mina de Mutuca

As atividades de mineração na mina da Mutuca foram iniciadas em 1961 pela Mineração Novalimense, em pequena escala. A partir de 1972, a MBR assumiu as operações, em ritmo crescente de produção, atingindo o ápice da extração e beneficiamento em 1994 (6,5 milhões de toneladas). A partir de 1997, a extração foi decrescente até a exaustão das reservas, fato este que se deu em 12 de dezembro de 2001. No último ano de atividade desta mina, foram extraídas e beneficiadas 2,8 Mt de minério.

Na mina de Mutuca foram lavradas e beneficiadas 126,3 Mt de minério de ferro, essencialmente hematita e os produtos resultantes (LO, SF, PFF) atenderam a demanda do mercado externo. O granulado constitui um produto muito especial (LORD – "Lump Ore" de Redução Direta) usado principalmente em reatores de redução direta (HYL e Midrex), a hematitinha é voltada para o mercado interno, notadamente para o pólo guseiro de Minas Gerais. Os recursos remanescentes formam 33 Mt de hematita com uma relação estéril/minério extremamente alta (9,6 t/t) e não econômica.

Vale destacar que as reservas remanescentes foram alvo de diversos estudos técnicos e econômicos que indicaram a rentabilidade de obtenção de 27,9 Mt de produtos (LD, HT – hematitinha, SF e PFF) que quando comercializados representariam um valor presente líquido (VPL) negativo de US\$ 104 milhões, à taxa de 121% ao ano, demonstrando assim a impossibilidade econômica de seu aproveitamento, ficando assim comprovada a exaustão das reservas.

À semelhança de todas as outras minas de ferro (hematitas e itabiritos) do Quadrilátero Ferrífero, o minério encontra-se associado à Formação Cauê, de idade proterozóica inferior correspondendo a uma formação ferrífera bandada de facies óxido.

A feição geológica mais notável na mina em questão refere-se ao sistema de falhamento de empurrão, imbricado, com sentido de movimento reverso sinistral e transcorrente. Deste sistema, a falha denominada Mutuca é a mais importante e possui direção preferencial NS, com caráter cinemático reverso sinistral, estendendo-se por vários quilômetros para o sul da mina. Na mina, a falha ocorre na parede oeste da cava, colocando a Formação Ferrífera Cauê em contato com seqüências alóctonas posicionadas estratigraficamente abaixo desta unidade geológica. No setor leste da mina, na base da Formação Cauê, ocorre um contato transicional e muitas vezes tectonizado com o topo da Formação Batatal, apresentando aí

uma seqüência que grada de uma formação ferrífera argilosa para itabiritos dolomíticos, dolomitos e filitos dolomíticos.

A formação Cauê na mina da Mutuca é constituída de itabiritos dolomíticos, compactos ou não, itabiritos silicosos (raros), minérios de ferro friáveis e minério de ferro compactos e semi-compactos. O corpo do minério remanescente tem a forma de meia amêndoa, tendendo a fechar das extremidades para o centro, no norte e no sul da cava.

A lavra de minério foi desenvolvida a céu aberto, com bancadas de 10 m de altura, largura de 4,2 m, ângulo geral de talude de 60° a 70°, acessos de largura variada dependendo do equipamento utilizado, e rampa máxima de 8%.

O minério foi desmontado com explosivos do tipo ANFO ou equivalente, com uma razão de carregamento da ordem 100g/t e, para o estéril de 300g/t. O plano de fogo previa uma malha espaçada de 5,0m × 8,0m ou 6,3m × 11,0m, em até quatro carreiras de furo de 7 7/8" de diâmetro, verticais e carga total máxima por desmonte de 10 toneladas.

A extração do minério a partir da cota de 1.200 m passou a interferir com o aquífero subterrâneo e houve a necessidade de se implantar poços para o bombeamento de água. Foram perfurados cinco poços, os três primeiros (P-01, P-02, P-03) em 1966 e os dois últimos (P-04, P-05) em 1993. O projeto de todo este sistema de bombeamento foi apoiado por competente estudos pioneiros de Hidrogeologia Aplicada, Modelamento Matemático e simulação em computador, desenvolvidas pelo hidrogeólogo Antônio Carlos Bertachini e com o apoio do software Modflow, desenvolvido originalmente pelo United States Geological Survey - USGS e aperfeiçoado pela equipe do brasileiro Nilson Guiguer, da Universidade de Waterloo, em Ontario, no Canadá. A vazão média dos poços projetados foi, até 1999, 19 litros por segundo, passando para 48 litros por segundo em 2000. No último ano de operação, a vazão foi de 39 litros por segundo e atualmente apenas o poço P-04 está em produção, na vazão de apenas 3,0 litros por segundo, não mais para promover o rebaixamento do nível de água da mina, mas sim para atender as necessidades domésticas de Mutuca.

O transporte de minério de ferro da mina, para o beneficiamento, e do estéril da mina para as respectivas pilhas foi feito por caminhões fora da estrada, Dresser de 150t de carga (*pay load*). Nos derradeiros anos de operação, com o aprofundamento da lavra e situações mais difíceis de mobilidade, os grandes equipamentos de transporte foram substituídos por caminhões de 38 t (Volvo/ Escania).

A partir de 1995, o minério complementar para a plena operação de instalação de tratamento de minérios (ITM) de Mutuca (6,0 Mt/ ano) passou a vir da mina do Tamanduá e, secundariamente da Mina de Capitão do Mato, que iniciaram sua operação sob o comando da MBR.

Com a diminuição acentuada da lavra de Mutuca, o minério do Tamanduá passou a ser fundamental para as operações da denominada ITM MUT, e, a partir de 2001, praticamente a única forma de alimentação da ITM MUT. Com a obtenção de licença de operação (LO) da Mina Capão Xavier, em 2003, esta mina passou a ser a única fonte de alimentação do Complexo Mutuca. A partir desta data, o minério do Tamanduá juntou-se ao minério do Capitão do Mato, passando a alimentar a planta de Vargem Grande e completando a segunda fase do Complexo Tamanduá, visando a capacidade projetada de 20,0 Mt / ano de alimentação.

No que diz respeito ao beneficiamento mineral, a ITM MUT foi projetada para beneficiar 7,5Mt/ano de minério, base natural (úmida), com uma recuperação mássica de 81,9%. O fluxograma do ITM MUT pode ser visto na [FIG. 44](#) e o fluxo básico do processo projetado pelo Paulo Abib Engenharia compreende a seqüência de operações de britagem primária,

secundária e terciária, peneiramentos, ciclonagens, concentração magnética, filtragem e espessamento de lamas.

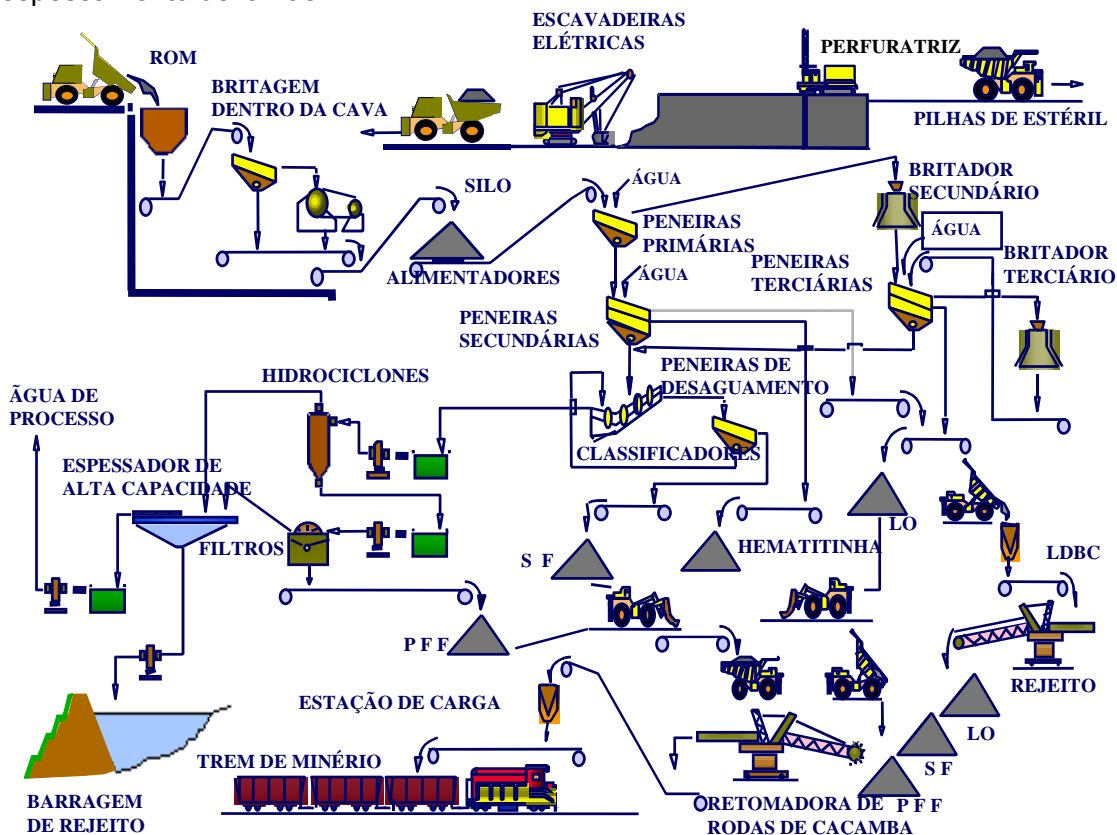


FIGURA 44 – Fluxograma de beneficiamento da mina da Mutuca

A ITM MUT tem capacidade instalada para beneficiar 7,5 Mt/ano, base natural, com recuperação mássica total de 81,9%. Os estágios do beneficiamento da Mutuca são constituídos por britagens primária, secundária, terciária e peneiramento, ciclonagem, concentração magnética, filtragem e espessador de lamas.

O peneiramento é feito a úmido e desenvolvido em três etapas: primário, secundário e terciário, utilizando-se peneiras vibratórias inclinadas e horizontais (secundário). Na peneira primária o material retido (+76 e +32 mm) é rebitado em 38mm e 19mm (britador de cone). As peneiras secundárias classificam o passante na peneira primária, sendo o retido no primeiro deck deste peneiramento parte do produto *Lump Ore* (LO), o retido no segundo deck a Hematitinha e o passante será encaminhado para a classificação. O peneiramento terciário, com dois decks e aberturas em 35mm (1º deck) e 10mm (2º deck), tem função de classificar os produtos britados pelos britadores secundário e terciário. O produto retido no 1º deck retorna à britagem terciária e o retido no segundo deck se juntará àquele obtido no peneiramento secundário, constituindo o LO. O passante (-10mm) será direcionado aos classificadores espirais.

A alimentação (-10mm) dos classificadores espirais é composta pelos produtos passantes nas peneiras secundárias e terciárias. O *underflow* dos classificadores constitui o produto *sinter feed* (SF) sendo o *overflow* conduzido para um tanque com agitador, e, de lá, bombeado para o estágio de ciclonagem.

A ciclonagem é efetuada em uma etapa, em duas baterias de ciclones de 254 mm para remoção das lamas presentes. O *overflow* da ciclonagem é conduzido por gravidade para o espessador de lamas de alta capacidade, que promoverá o espessamento das lamas e o

underflow irá constituir a alimentação da concentração magnética. O *underflow* da ciclonagem é peneirado em 0,6mm em peneiras horizontais com o objetivo de eliminar contaminações e é descartado. O *undersize* do peneiramento é direcionado para o tanque de condicionamento onde é ajustado a percentagem de sólidos para 35%.

A Polpa com 35% de sólidos alimentará 04 separadores magnéticos de alto gradiente *Ferrous Wheel*, e, o concentrado resultante é bombeado para a bateria de ciclones desaguadores, fornecendo esta um *underflow*, já com concentração de sólidos requerida para a filtragem. O *overflow* desta bateria é adicionado nas peneiras desbastadoras e parte é conduzida por gravidade para alimentação dos classificadores espirais.

O produto da filtragem (filtros de disco a vácuo), concentrado com 10% de umidade, corresponde ao produto *Pellet Feed Fines*.

O espessador de lamas é alimentado pelo *overflow* da ciclonagem e nele é feita adição de floculante aniônico ou não iônico (10g-30g/t).

A água recuperada no espessador de lamas é encaminhada para o reservatório de água de processo e, de lá, é bombeada para os pontos de consumo da ITM (peneiramento e classificação).

O *underflow* (lamas) do espessador é bombeado para a disposição controlada nas barragens.

Na ITM da Mutuca, a partição típica de produtos resultantes da alimentação proveniente do minério Mutuca encontra-se apresentada na TAB. 11.

TABELA 11 – Partição de produtos resultantes da alimentação proveniente do minério Mutuca.

LO	-31,30mm + 12,50mm	= 25,3%
HEM	-12,50mm + 06,30mm	= 04,5%
SF	-06,30mm + 0,15mm	= 46,5%
PFF	-0,15mm + 0,010mm	= 09,7%

8.1.3 Mina Capanema

A mina Capanema, da Mineração Serra Geral S.A., situa-se na parte sudoeste da Serra do Ouro Fino, na porção central do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, extremo sudoeste da APA Sul RMBH, encontrando-se atualmente desativada. Corresponde a uma *joint venture* entre a CVRD (51%) e um conjunto de siderúrgicas japonesas (49%) lideradas pela Kawasaki Steel Corporation (29,5%), compreendendo a produção de 11 milhões de toneladas de produtos de bitola inferior a 4". Toda a produção era encaminhada à mina de Timbopeba, para ulterior tratamento, através de um transportador de correia de longa distância, com 10,9 km de extensão e vencendo um desnível de 325 m. Estes dois empreendimentos minerais, operando em conjunto, era referido pelo nome Complexos Timbopeba – Capanema. O tratamento final, o transporte ferroviário e a comercialização dos produtos eram feitos pela CVRD.

Os minérios de Capanema estavam contidos na Formação Cauê e compreendiam os itabiritos enriquecidos supergeneticamente, tendo sido subdivididos pela Mitsubishi Mining and Cement Co nos tipos discriminados no [QUADRO 4](#).

QUADRO 4 – Tipos de minérios de Capanema (Mitsubishi Mining and Cement Co.)

TIPOS DE MINÉRIO	SIGLA	DESCRIÇÃO
Hematite – a	Ha	Hematita a (Fe \cong 40%)
Hematite – b	Hb	Hematita b (Fe \cong 61-62%)
Soft Itabirite	SI	Itabirito friável (Fe \cong 56%)
Weathered Hematite	wH	Hematita intemperizada (Fe \cong 61%)
Heavy Weathered Hematite	hwH	Hematita muito intemperizada
Canga (CG)		

Na verdade, constituíam-se-se efetivamente em minérios os tipos Ha, Hb, SI e wH, enquanto que os itabiritos duros, as cangas e o hwH eram estéreis (não aproveitáveis economicamente). A TAB. 12 apresenta a granulométrica típica dos minérios de Capanema.

TABELA 12 – Qualidades Granulométricas e Químicas dos Minérios de Capanema

Tipos de minérios	Frações	%	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	PPC
Hematita a (Ha)	Global	100,00	64,40	2,04	1,45	0,060	3,88
	+1"	15,57	64,17	1,46	2,02	0,065	4,49
	-1+1/4"	29,74	64,66	1,40	1,64	0,060	4,17
	-1/4+100#	33,06	64,50	2,33	1,33	0,061	3,98
	-100#	21,63	64,05	4,34	0,96	0,056	2,89
Hematita b (Hb)	Global	100,00	61,57	7,47	0,84	0,068	3,12
	+1"	13,58	64,60	2,15	0,99	0,062	3,60
	-1+1/4"	28,07	65,10	2,49	0,82	0,065	3,31
	-1/4+100#	32,39	62,06	6,75	0,90	0,078	3,34
	-100#	25,96	55,31	16,55	0,72	0,062	2,40
Itabirito friável	Global	100,00	55,42	17,52	0,50	0,049	2,05
	+1"	10,51	63,40	6,54	0,29	0,048	2,27
	-1+1/4"	23,48	63,32	5,76	0,31	0,047	2,30
	-1/4+100#	33,65	57,68	14,17	0,56	0,056	2,32
	-100#	32,36	45,19	33,09	0,64	0,044	1,53
Hematita intemperizada (wH)	Global	100,00	61,61	1,20	2,85	0,091	7,39
	+1"	15,20	60,89	1,04	3,47	0,084	8,08
	-1+1/4"	34,96	61,21	1,07	3,24	0,078	7,82
	-1/4+100#	34,92	61,58	1,26	2,55	0,108	7,50
	-100#	14,92	63,34	1,52	2,10	0,087	5,39

A pesquisa da jazida encontra-se descrita, em suas linhas básicas, por [Guimarães et al. \(1986\)](#) envolvendo a abertura de poços, galerias, mapeamentos geológicos de superfície e de sub-superfície, a amostragem de minerais, determinações de densidades e análises químicas dos conteúdos Fe, SiO₂, Al₂O₃. P e PPC – Perda por Calcinação, de um teste de beneficiamento do itabirito. O empreendimento resultante foi um sucesso, inobstante a pequena quantidade de trabalho de pesquisa realizada, segundo os padrões de hoje.

Os minérios da Capanema eram constituídos pelas porções enriquecidas supergeneticamente dos itabiritos da Formação Cauê. Na área da mina, devido à estrutura sinformal, a existência de uma camada sotoposta impermeável (Filito Batatal) e ao relevo de formas suaves, a alteração meteórica atingiu grandes profundidades, afetando praticamente todo o corpo de formação ferrífera.

A formação ferrífera contida no decreto de lavra tem cerca de 2.500 m de comprimento, 700 m de largura média de afloramento e espessura superior a 150 m.

A estrutura dos corpos de minérios resulta da interação das camadas e lentes dobradas de itabiritos de diversos tipos com os vários níveis de alteração meteórica e enriquecimento residual supergenético. É condicionada, portanto, pelo empilhamento estratigráfico pelas quatro etapas deformativas, pela epirogenia e pelas oscilações do nível freático, em tempos relativamente mais recentes.

De acordo com os trabalhos da Mitsubshi, a reserva da mina Capanema era de 356.859.000 t, considerando-se o minério compreendido entre a cota 1.400 m, embora exista minério abaixo desse nível.

A reserva era constituída por quatro tipos de minérios que possuíam o teor médio em torno de 62% Fe. Esses tipos tinham a seguinte participação:

- 44,8% de hematita a
- 9,4% de hematita b
- 23,2% de itabirito friável
- 22,6% de hematita intemperizada (wH)

As hematitas a e b constituíam 54,2% e totalizavam cerca de 193 milhões de toneladas recuperáveis, com teor de 63,57% de Fe.

A lavra foi efetuada a céu aberto, com bancos de 13m de altura. Foram utilizados os seguintes componentes:

- 03 escavadeiras P&H 1900 de 10j3
- 02 carregadeiras Marathon de 8,5 j3
- 11 caminhões Wabco 120C de 108t
- 04 tratores de esteira D8K
- 01 trator de pneu 824C
- 01 motoniveladora Caterpillar 140B
- 01 tanque de irrigação Terex 24 de 30000l
- 01 carreta Volvo de 40t
- 05 perfuratrizes Chicago de até 3 ½"; e
- 05 compressores Atlas Copco 600 pcm.

As instalações compreendiam britagem primária, peneiramento de escalpe, britagem secundária e transportadores de correia (FIG. 45), interligando aquelas unidades e conduzindo o minério resultante, com granulometria de até 4 polegadas, ao pátio de homogeneização. Neste operavam duas máquinas móveis: uma empilhadeira e uma recuperadora.

O minério já homogeneizado, empilhado no pátio, era carregado pela recuperadora, alimentando o sistema de correias transportadoras de longa distância. Esse sistema, com 10,9 km de extensão, vencida um desnível de 354 m, e alcançava Timbopeba, onde o minério era entregue à Cia. Vale do Rio Doce.

Uma vez que as reservas conhecidas esgotaram-se, a Mineração Serra Geral desmontou as instalações de britagem e de estoque de minério da mina e mantém, muito bem, as instalações de apoio e das áreas lavradas.

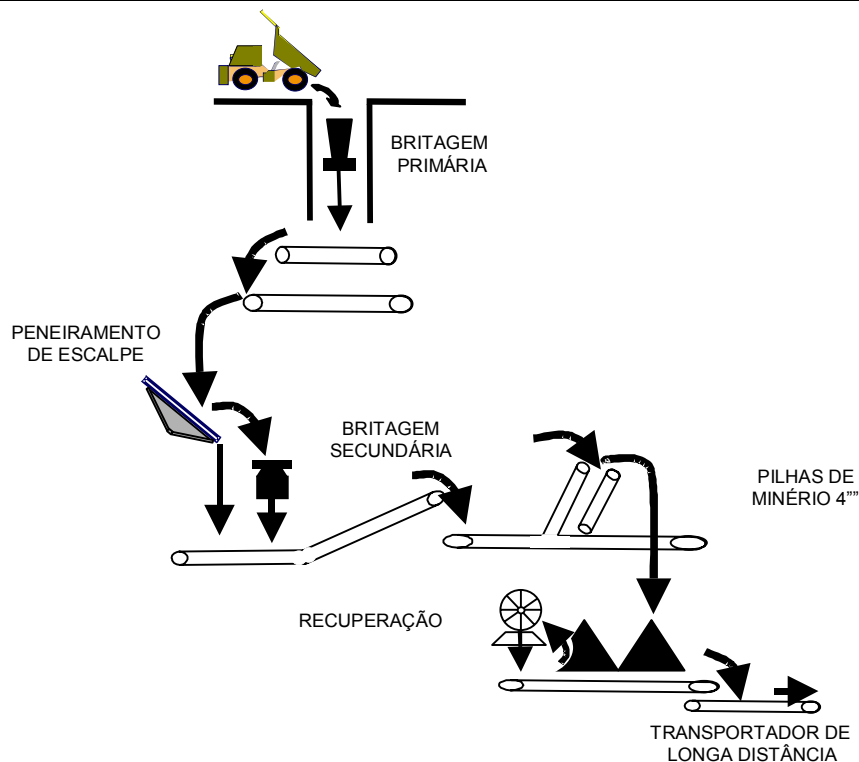


FIGURA 45 – Fluxograma da instalação de britagem e homogeneização de Capanema.

8.1.4 Complexo Mineiro do Pico do Itabirito

O denominado Complexo Mineiro do Pico do Itabirito foi concebido com base no Capítulo X Artigo 69 a 75 do Regulamento do Código de Mineração (Decreto Nº 62.934, de 2 de julho de 1968) que possibilita “a reunião, em uma só entidade de mineração, de várias concessões de lavra de mesma substância mineral, outorgada a um só titular, em área de um mesmo jazimento ou zona mineralizada”, com o intuito de dar mais flexibilidade e sinergia às operações mineiras, diminuindo os investimentos e os custos operacionais, possibilitando a maximização dos recursos/reservas minerais existentes. “O titular do Grupamento Mineiro poderá, a juízo do DNPM e desde que por este autorizado, concentrar suas atividades em uma ou algumas concessões, contanto que a intensidade da lavra seja compatível com a importância da reserva total, das jazidas agrupadas.”

Neste contexto, a MBR foi autorizada a construir um Grupo Mineiro, de número 99/89 e informalmente denominado Grupamento ou Complexo Mineiro do Pico do Itabirito, englobando as áreas apresentadas no QUADRO 5.

QUADRO 5 – Concessões do Grupamento Mineiro nº 99/89.

Número do Processo	Título Mineiro	Número do Título	Data do Título	Data da Publicação	Localização
654 / 58	Manifesto de Mina	308-XXI-F	02/03/1936	-	Fazenda Cata Branca
1090 / 57	Decreto de Lavra	46.656 / 59	17/08/1959	24/08/1959	Retiro do Sapecado
1802 / 58	Decreto de Lavra	63.562 / 68	06/11/1968	11/11/1968	Abóboras e Trovões
4810 / 58	Decreto de Lavra	49.755 / 60	31/12/1960	17/01/1961	Retiro dos Marinhos
4811 / 58	Decreto de Lavra	49.756 / 60	31/12/1960	17/01/1961	Andaime e Abóboras
4854 / 58	Decreto de Lavra	49.255 / 60	17/11/1960	25/11/1960	Retiro dos Marinhos

O Grupamento Mineiro Nº 99/ 89, foi inicialmente motivado em decorrência dos eventos listados a seguir:

- Reavaliação dos recursos existentes nos domínios do Grupamento que culminaram com expressivo aumento das normas;
- Ampliação e diversificação dos requerimentos dos mercados externos e internos;
- Necessidade de aumento da produção para a empresa não perder espaço nos mercados;
- Desenvolvimento de novas tecnologias para o aproveitamento de minérios mais pobres;
- Necessidade de racionalização do sistema de transporte do minério de várias minas até o terminal marítimo da Ilha de Guaíba, no Estado do Rio de Janeiro.

Em função do plano integrado de aproveitamento econômico elaborado pela MBR, o Grupamento Mineiro ainda possibilitaria ou facilitaria:

- Elaboração de um sequenciamento de lavra bastante racional, com a continuação da exploração mineral na Mina do Pico do Itabirito, passando em seqüência para a lavra simultânea das Minas do Galinheiro e Retiro dos Marinheiros e, finalmente seriam iniciadas simultaneamente as operações das minas de Abóboras e Andaime I e II, prosseguindo assim a produção até a exaustão das respectivas reservas.
- Todas estas decisões encontram-se embasadas por critérios técnicos e econômicos, bem como pelo atendimento a todos os condicionantes de ordem legal e de cuidados com o meio ambiente.

- **Geologia e recursos**

Os recursos minerais do Grupamento Mineiro do Pico, à semelhança de outras áreas do Quadrilátero Ferrífero e APA Sul RMBH, encontram-se relacionados à Formação Ferrífera Cauê.

O corpo de minério localiza-se na aba leste do Sinclinal da Moeda e compreende uma lente compacta em formato de cunha encrustada em itabiritos friáveis. Localmente o conjunto recebe o nome de Serra do Itabirito.

Esse domínio envolve além da área do Pico do Itabirito, as áreas do Galinheiro, Salvador Machado e Sapecado. As encaixantes são constituídas por itabiritos silicosos (Formação Cauê) e filitos e quartzitos (Grupo Caraça).

A direção do corpo do minério é N30°E, com caimento das camadas variando de 20° a 70°, mergulhando ora para SE, ora para NW.

As jazidas foram pesquisadas essencialmente por sondagens rotativas a diamante, tendo-se chegado aos recursos expressos na TAB. 13.

TABELA 13 – Recursos minerais da área do Pico do Itabirito e adjacências.

Recursos	Regiões		
	Mina do Pico (M/t)	Mina do Sapecado (M/t)	Total (M/t)
Hematita	160,25	45,18	205,43
Itabirito rico	82,71	70,31	153,02
Itabirito pobre	155,78	165,56	321,34
Total	398,74	281,05	679,79

Na região da mina de Abóboras, os recursos assinalados em termos de hematita, são apresentados na TAB. 14.

TABELA 14 – Recursos minerais da área de Abóboras

Frações (mm)	Massas		Teores				
	(M/t)	(%)	Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Mn
-50,8 +6,35	15,90	47,18	67,53	0,051	1,28	0,75	0,013
-6,35 -0,15	8,27	24,54	66,92	0,063	1,38	1,16	0,015
-0,15	9,53	28,28	63,93	0,078	1,85	4,35	0,016
Total	33,70	100,00	66,37	0,062	1,47	1,87	0,044

Além dessas hematitas, Abóboras possui no mínimo 15,0 Mt de itabiritos ricos passíveis de serem concentrados.

- Planejamento de lavra

Em todas as minas do Grupamento do Minério do Pico, o método de lavra aplicado é a lavra a céu aberto, por bancadas de 10 m de altura, com ângulos finais de talude variando de 35° a 50°, dependendo da natureza dos materiais expostos e das descontinuidades geológicas que se fazem presentes.

Os equipamentos de grande porte são utilizados principalmente na Mina do Sapecado, onde a dimensão dos bancos são suficientemente grandes para permitirem o funcionamento dos mesmos sem restrições. Os equipamentos de médio porte são utilizados na mina do Pico do Galinheiro, onde a dimensões da primeira, em "cava fechada" e da segunda em encosta exigem equipamentos de menor tamanho que operem com racionalidade e segurança.

Os principais equipamentos operando na minas do Pico, Sapecado e Galinheiro e na mina de Abóboras são mencionados nos QUADROS 6 e 7, que se seguem.

QUADRO 6 – Equipamentos principais de lavra nas minas do Pico, Sapecado e Galinheiro.

Tipos	Unidades	Tipos	Unidades
Perfuratrizes	5	Compressores	2
Tratores de Altura	9	Tratores de Pneu	3
Escavadeira	4	Retroescavadeiras	3
Carregadeiras	11	Caminhões	23
Motoniveladoras	2	Outros	4

QUADRO 7 – Equipamentos principais de lavra na Mina de Abóboras

Tipos	Unidades	Tipos	Unidades
Perfuratrizes	2	Marteletes	2
Compressores	2	Tratores de esteira	2
Escavadeiras	3	Retroescavadeiras	3
Carregadeiras	2	Caminhões	17
Tanque Irrigador	2	Outros	4

Além dos equipamentos principais, existem ainda caminhões médios e leves, caminhonetes, automóveis, comboios de lubrificação, tanques irrigadores e outros necessários para completar o elenco de apoio às operações de lavra.

Com base nas últimas informações disponíveis, notadamente as informações de mercado de minério de ferro, os profissionais ligados ao planejamento estratégico da empresa elaboram os programas de produção a longo prazo (LTDP – *Long Term Delopment Plan*) como o apresentado abaixo para o Complexo do Pico (TAB. 15).

TABELA 15 – Programas de produção a longo prazo para o Complexo do Pico

Minas	Anos								
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Região do Pico									
Hematita	11,7	8,6	8,6	8,6	8,6				
Itabirito	4,7	8,7	8,7	8,7	8,7	16,7	16,7	16,7	16,7
Total	16,4	17,3	17,3	17,3	17,3	16,7	16,7	16,7	16,7
Estéril	18,5	20,2	17,1	9,7	5,5	5,3	5,3	5,3	5,3
REM	1,13	1,17	0,99	0,56	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Abóboras									
Hematita	1,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Estéril	0,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
REM	0,53	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Minas	Anos								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Região do Pico									
Hematita									46,1
Itabirito	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	239,9
Total	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	286,0
Estéril	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	129,1
REM	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,45
Abóboras									
Hematita	1,0								26,5
Estéril	0,5								14,9
REM	0,50								0,56

Ressalva-se que estes planos são muito dinâmicos e atualizados com relativa frequência. Isto envolve um grande manuseio de dados, desde pesquisas geológicas, atualizações de recursos/reservas, revisões de planos de lavra e de processamento do minério, transporte ferroviário, expedição de concentrados etc. Isto só se faz com equipes muito bem capacitadas e apoiadas por um elenco de softwares especializados v.g. ISATIS (Geoestatística), Datamine (Planejamento Mineiro), NPV – Scheduler (Projetos de cava finais), softwares de seqüenciamento de produção etc.

O Grupamento do Pico produz anualmente, cerca de 17 milhões de toneladas de minério e 23 milhões de toneladas de estéril.

- **Beneficiamento mineral**

O minério proveniente das minas do Pico, Sapecado e do Galinheiro, perfazendo um total de 16,6 Mt anuais, composto de 70% de hematita e de 30% de itabiritos, alimenta três instalações de tratamento de minérios, denominadas ITM A, ITM B e ITM D (FIG. 46 a 48), onde são desdobrados nos produtos finais comercializáveis. Atualmente, a maior parte produção de minério vem da Mina Sapecado (10,6 Mt anuais), depois da Mina do Pico (4,3 Mt / ano) e finalmente da Mina do Galinheiro (1,7 Mt / ano).

O rendimento ponderal destas instalações é função do minério alimentado e deve estar por volta de 80% da produção total, o que equivale a aproximadamente 13 milhões de toneladas de produtos (granulados e finos).

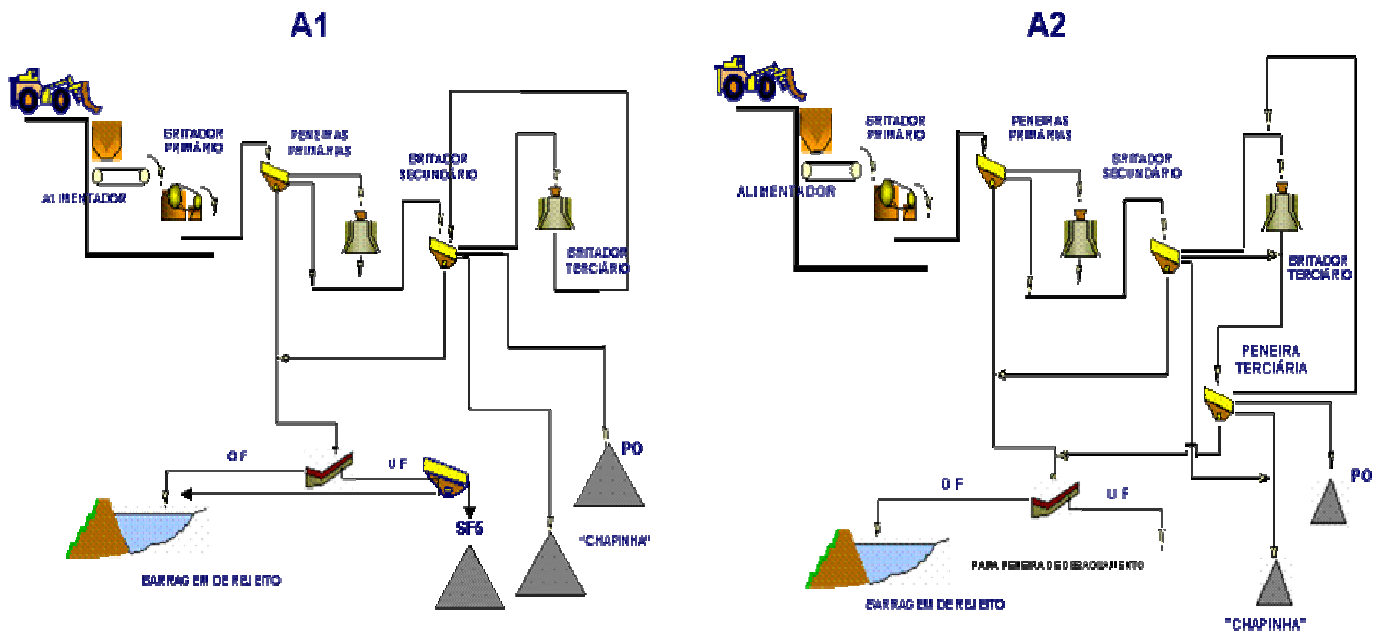


FIGURA 46 – Fluxograma da ITM A, Complexo do Pico do Itabirito.

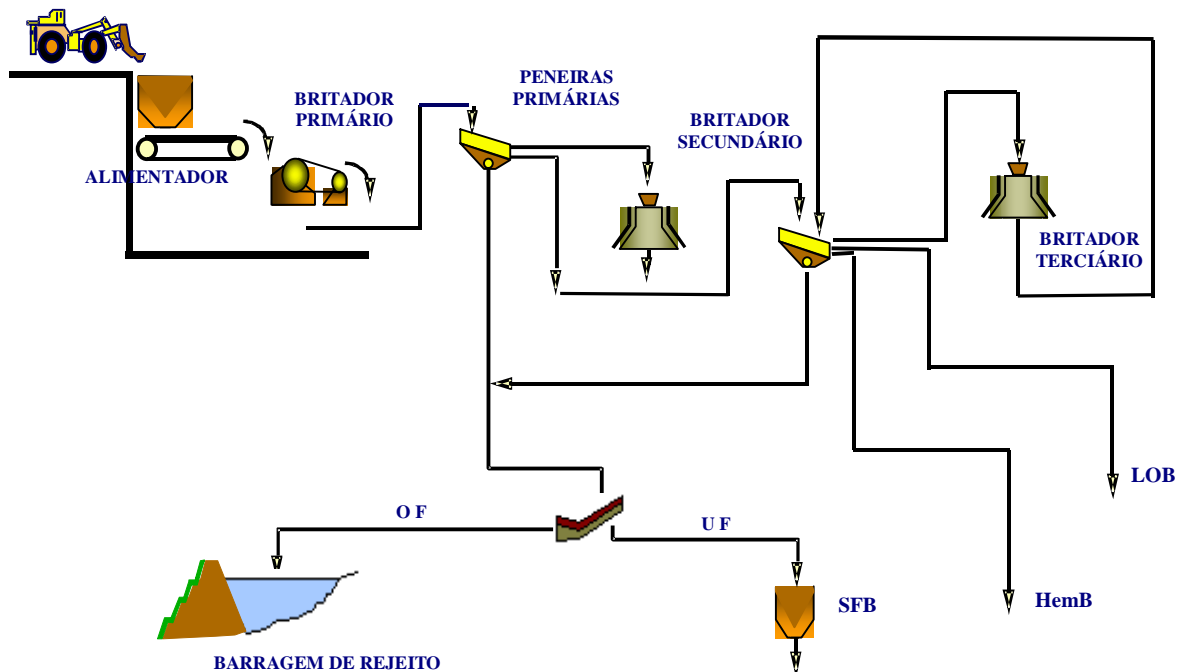


FIGURA 47 – Fluxograma da ITM B, Complexo do Pico do Itabirito.

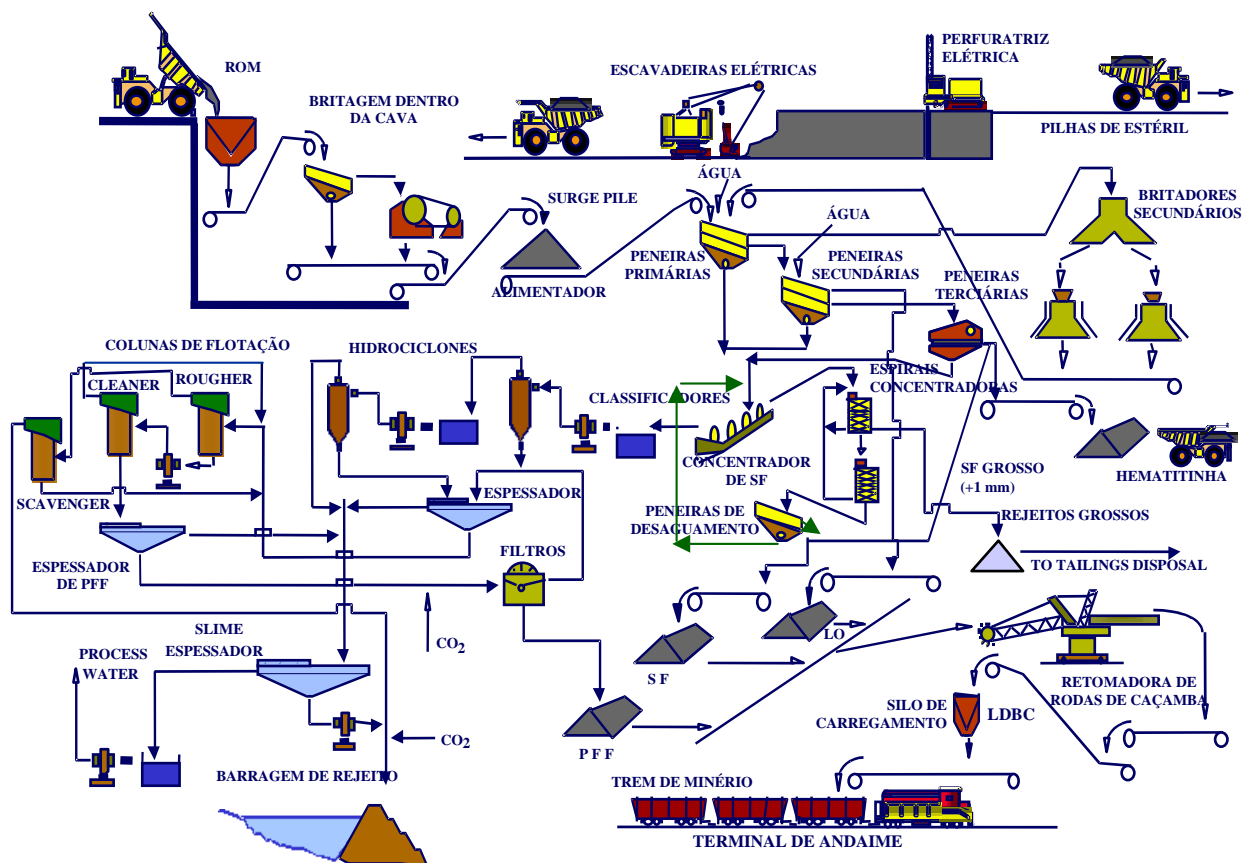


FIGURA 48 – Fluxograma da ITM D, complexo do Pico do Itabirito.

Estes fluxogramas são praticamente auto-explicativos do processo de concentração mineral. A instalação do processamento de minérios mais sofisticada na região do Pico do Itabirito reporta-se a ITM D (FOTO 16).



FOTO 16 - Instalação de Tratamento de Minério (ITM-D) do Complexo do Pico do Itabirito

Observa-se no fluxograma (FIG. 48) que o minério passa por sucessivos estágios de fragmentação e classificação retirando-se, de plano, um produto granulado (LO - Lump Ore e HT - hematitinha). A alimentação para sinter é obtida com apoio de classificadores espirais e espirais concentradoras. A fração fina é deslamada em hidrociclones, operando em dois estágios, e logo após flotada em um circuito de flotação em coluna, organizado na forma clássica de desbaste (*rougher*), desatranhamento (*scavenger*) e limpeza (*cleaner*). Os produtos finais são embarcados no Terminal de Andaime, seguindo por ferrovia até o Terminal da Ilha de Guaíba (TIG).

O minério proveniente da Mina de Abóboras, perfazendo um total de 28 Mt/ano, poderá alimentar alternativamente:

- a) uma futura instalação de tratamento de minério a ser construída na própria Mina de Abóboras, onde será reduzido a menos 32 mm e transportado para a Instalação de Tratamento de Minérios de Várzea Grande. Esta instalação já vem operando há alguns anos com os minérios provenientes das minas do Tamanduá e Capitão do Mato e gerando os seguintes produtos:
 - LORD ("Lump Ore" para Redução Direta), com dimensões < 31,8 mm e > 12,5 mm.
 - LOAF ("Lump Ore" para Alto Forno), com dimensões < 12,5 mm e > 0,15 mm;
 - SF ("Sinter Feed"), com dimensões <6,4 mm e > 0,15mm, e finalmente;
 - PFF ("Pellet Feed Fine"), com dimensões <0,15mm.

- b) Quando o produto for destinado ao mercado interno, o minério será transportado para a complementação de beneficiamento nas instalações de tratamento de minério da Mina de Fernandinho ITM 2, onde serão gerados os seguintes produtos:
 - BG (Bitolado Grosso), com dimensões < 50 mm e > 25 mm;
 - BM (Bitolado Médio), com dimensões < 25 mm e > 6,3 mm;
 - SFG ("Sinter Feed Grosso"), com dimensões > 6,3 mm e > 0,3 mm;
 - SFF ("Sinter Feed Fino"), com dimensões < 6,3 mm e > 0,2 mm.

Entretanto, caso as capacidades instaladas nas ITMs de Mina do Pico sejam suficientes para suprir os requerimentos do atual mercado interno, a ITM 2 não será acionada.

A TAB. 16 apresenta as características dos produtos gerados pelo complexo do Pico do Itabirito.

TABELA 16 – Características dos produtos gerados nos ITM do Grupamento do Pico do Itabirito

ITM's	Tipo de minério	Produtos	
		Quantidade (Mt)	Tipos
D	Hematita e itabirito rico	11,13	LO ("Lump ore")
		3,50	Hematitinha
		19,35	SFF("Sinter feed "silicoso)
		13,49	PFF("Pellet feed Fines")
	Itabirito silicoso	48,00	SF 3,5 ("Sinter feed 3,5)
		72,00	PFF ("Pellet feed Fines")
A1 / A2 E B	Itabirito rico	12,60	SF 5,0 ("Sinter feed 5,0)
B	Hematita	0,39	LO ("Lump ore")
		0,19	Hematitinha
		0,67	CSF ("sinter feed concentrado")
Vargem Grande	Hematita	8,13	LO ("Lump ore")
		3,80	Hematitinha
		7,85	SF ("Sinter feed")
		2,56	PFF("Pellet feed fines")

- Impactos Ambientais

Os projetos mínero-metalúrgicos, inexoravelmente, causam impactos ao meio ambiente, cabendo ao minerador tomar todos os cuidados para minimizar os impactos negativos e ampliar aqueles positivos. De alguma maneira, o Grupamento Mineiro Pico é favorecido pela sua localização, distante dos centros urbanos, permitindo que os efeitos das atividades minerárias sejam sentidas praticamente apenas pelas pessoas que realizam estas atividades. Hodiernamente, toda empresa responsável toma todos os cuidados na adoção de medidas mitigadoras procurando limitar os impactos negativos na área onde as operações se realizam.

São listadas a seguir os principais impactos ocorrentes nas minas do Pico, do Sapecado e do Galinheiro e são dados rápidos lampejos de algumas medidas mitigadoras adotadas.

- Geração de poeiras em diversas operações mineiras v.g. transporte e manuseio de minérios. Atenua-se este efeito com a rega das estradas, umedecimento do material e o uso de EPIs por operadores sujeitos a estas vicissitudes;
- Vibração e ruídos (planos de fogo bem concebidos, uso de EPIs);
- Erosão de solo e deterioração da qualidade das águas superficiais (proteção de encostas, revegetação, barragens ecológicas);
- Óleos e graxas (uso de caixas separadoras de óleos e graxas nas oficinas mecânicas e postos de atendimento);
- Esgoto sanitário (uso de ETE, estação de tratamento de esgotos);
- Alteração da qualidade das águas (monitoramento, controle);
- Supressão da vegetação (revegetação);
- Geração de resíduos sólidos (pilhas de estéril, barragem de rejeitos);
- Rebaixamento do nível d'água (estudos hidrogeológicos, monitoramento, controles).

É bem sabido que um dos principais impactos de mineração reporta-se ao meio hídrico. O impacto do rebaixamento do nível d'água na mina do Pico do Itabirito resta adstrito à formação ferrífera, importante aquífero da região.

8.1.5 Complexo Tamanduá – Capitão do Mato

Os depósitos de Tamanduá e Capitão do Mato situam-se na aba leste do Sinclinal da Moeda, a 18 km ao sul de Belo Horizonte. Entre as minas abertas nestes dois depósitos situa-se o Condomínio Morro do Chapéu, um dos mais sofisticados da região, também situado sobre a formação ferrífera Cauê. Estas duas minas distam 3 km uma da outra.

No início da década de 50 estes depósitos foram estudados através de poços pela Mineração Hannaco, empresa pertencente a St. John D'El Rey Mining Co. A Companhia de Mineração Novalimense sucedeu a Hannaco e deteve os direitos minerários dessas áreas até 1970. A Aquisição dos direitos minerários pela MBR ocorreu em 1971. Estes depósitos foram incipientemente explotados pela Mineração Prima S.A. (de 1971 a 1997) e CONVAP (de 1994 a 1997) por regime de arrendamento. A produção anual de minério nessas minas era de apenas 3 milhões de toneladas enquanto que hoje elas produzem 21 milhões de toneladas por ano.

Para dar suporte a esta produção, a MBR realizou dezenas de milhares de metros de furos de sonda, em várias campanhas, a partir do final da década de 70. As reservas existentes na mina de Tamanduá são da ordem dos 133 Mt com uma relação estéril minério de 1,47. Os recursos de hematitas ricas (Fe > 64%) desta mesma mina são da ordem de 363 Mt, sendo 276 Mt medidos, 40 Mt indicados e 46 Mt inferidos. A grande diferença entre as reservas e os recursos prende-se às restrições impostas a lavra pela proximidade de núcleo habitacional.

- **Súmula geológica do depósito de Tamanduá**

O depósito de Tamanduá faz parte da aba leste do Sinclinal da Moeda sendo que a lente de hematita pertencente ao mesmo apresenta-se segundo uma estrutura monoclinical com camadas invertidas e intensamente dobradas. As encaixantes oeste são constituídas por dolomitos da Formação Gandarela e a leste por filitos da Formação Batatal. A direção geral predominante no pacote de rochas é N30°W com mergulho de 70°NE.

O corpo de minério possui a extensão de 2.800 m, espessura média de 350 m e profundidade máxima de 250 m da superfície.

A distribuição granuloquímica de hematitas e itabiritos típicos do depósito, obtida por ensaios laboratoriais encontra-se apresentada na TAB. 17.

TABELA 17 – Distribuição granulométrica de hematitas e itabiritos para o depósito de Tamanduá.

Hematita:

Granulometria	(%)	Análises Químicas (%)			
		Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂
+ 1/4 #	30,6	67,6	0,03	1,3	0,9
+ 100 #	39,6	67,5	0,03	1,2	1,2
-100 #	29,8	65,3	0,05	2,0	2,3

Itabiritos Ricos:

Granulometria	(%)	Análises Químicas (%)			
		Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂
+ 1/4 #	18,5	57,0	0,03	1,2	7,8
+ 100 #	35,1	62,6	0,03	1,3	7,1
-100 #	46,4	49,0	0,05	2,5	24,6

- **Súmula geológica do depósito de Capitão do Mato**

Uma feição interessante do depósito de Capitão do Mato, reporta-se à intercalação de camadas de hematita e itabirito ricos, num estilo estrutural tabular, mas com uma postura subvertical e com vários corpos de rochas intrusivas concordantes associados. O corpo de

minério encontra-se localizado na aba leste invertida do Sinclinal da Moeda, correspondendo a um prolongamento da faixa mineralizada do Tamanduá.

A direção geral das camadas varia entre 25° e 35°NW, com caimentos essencialmente verticalizados. O corpo de minério possui 2.800 m de comprimento, 130 m de espessura e 170 m de profundidade máxima em relação à superfície.

Dados de pesquisa e ensaios laboratoriais assinalaram a seguinte distribuição granulométrica de hematitas e itabiritos típicos do depósito, apresentada na TAB. 18.

TABELA 18 – Distribuição granulométrica de hematitas e itabiritos para o depósito de Capitão do Mato

Hematita:

Granulometria	(%)	Análises Químicas (%)			
		Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂
+ 1/4 #	22,5	66,1	0,04	1,9	0,7
+ 100 #	36,3	67,2	0,03	1,0	1,2
-100 #	41,2	65,5	0,04	1,9	2,0

Itabiritos Ricos:

Granulometria	(%)	Análises Químicas (%)			
		Fe	P	Al ₂ O ₃	SiO ₂
+ 1/4 #	16,9	60,7	0,08	2,2	3,8
+ 100 #	31,1	61,2	0,06	1,8	4,9
-100 #	52,0	55,9	0,06	2,2	13,1

- **Mineração**

A lavra nas minas de Tamanduá e Capitão do Mato são levadas a cabo por métodos a céu aberto, em bancadas de 10 metros de altura, com apoio em equipamento de grande porte (Dresser, 150t) no estéril e de pequeno porte no minério.

Existe uma razão para a operação com caminhões de pequeno porte no minério ([FOTO 17](#)) e de grande porte no estéril ([FOTO 18](#)). Em primeiro lugar, equipamentos de pequeno porte são mais apropriados para uma lavra mais seletiva, recupera melhor o minério e minimiza a diluição. Em segundo lugar, a Mina do Tamanduá possui uma britagem dentro da cava (*in-pit-crushing*) o que minimiza a distância de transporte. Caminhões menores são mais ágeis nestas circunstâncias, pois caminhões grandes gastam muito tempo para manobras, tanto na carga quanto na descarga. No cômputo geral o uso de caminhões pequenos é mais vantajoso tanto sob o ponto de vista de possibilitar uma melhor seleção na lavra quanto sob o ponto de vista econômico.

Outra particularidade importante na lavra de Tamanduá e Capitão do Mato é a detonação cuidadosa, com a subdivisão da carga explosiva com retardos, a fim de não provocar ruídos. A equipe da detônica da MBR efetivamente demonstrou que pode-se fazer uma detonação quase que silenciosa.



FOTO 17 – Britagem dentro da cava e caminhões de pequeno porte no minério



FOTO 18 – Caminhão fora de estrada (no estéril) da Mina de Tamanduá

- Beneficiamento

Ambas as minas, Tamanduá e Capitão do Mato possuem um sistema de preparação de minério lavrado, contemplando britagens em dois ou três estágios abertos, peneiramento de escalpe e estocagem do produto fragmentado.

Estes minérios são lavados por transportadoras de correia de grande distância à ITM de Vargem Grande, que pode ser vista na [FIG. 49](#).

A ITM de Vargem Grande é uma unidade muito bem projetada. A alimentação atual é feita a partir das Minas do Tamanduá e do Capitão do Mato, sendo o minério resultante de britagem terciária, realizada nesta última mina, transportado por um Transportador de Correia de Longa Distância – TCLD, conectando as Instalações de Tratamento de Minério da Mina do Capitão do Mato com aquelas da Vargem Grande.

- Peneiramento

No peneiramento primário, realizado a úmido, é obtido o produto final *Lump Ore* (9-35mm +12 mm). Este, por sua vez, é empilhado através de *stacker* de lança móvel, formando duas pilhas: LORD - *lump ore* para redução direta e LOBF - *lump ore* para auto forno. É obtida, ainda, uma parte do *Sinter Feed*

- Classificação

A classificação é desenvolvida em hidrociclones, cujo *underflow* é conduzido para uma peneira vibratória desaguadora para incorporação ao *Sinter feed* através de transportadores de correia.

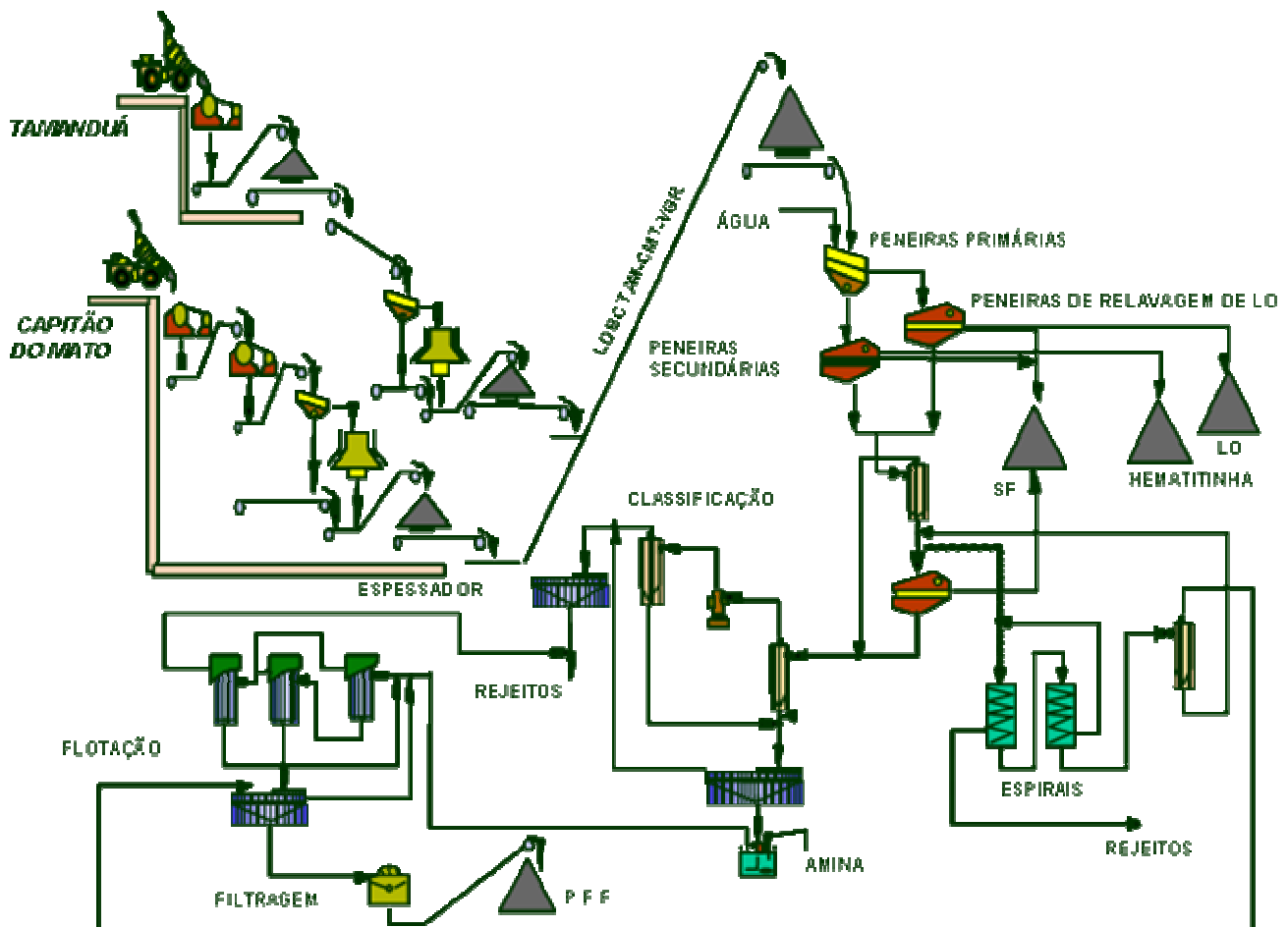


FIGURA 49 – Beneficiamento no Complexo Tamanduá-Capitão do Mato. ITM de Vargem Grande.

- Concentração de grossos (espirais concentradoras)

As espirais concentradoras são utilizadas para remoção dos contaminantes sílica e alumina. O concentrado de espirais é desaguado em hidrocilone desaguador e descarregado em peneira vibratória desaguadora, incorporando-se ao *Sinter Feed*.

- Deslamagem e espessamento

A deslamagem do *overflow* da ciclonagem de grossos é desenvolvida em dois estágios de ciclonagem e objetiva a máxima recuperação de sólido.

- Condicionamento/flotação

O *underflow* dos dois estágios de deslamagem constitui a alimentação da flotação e é conduzido, por gravidade, para um espessador tipo ponte.

A função deste espessamento é adequar o percentual de sólidos para a alimentação da flotação, evitando variações inerentes às operações anteriores.

O *overflow* do espessador EP-01 é bombeado para outro espessador, incorporando-se ao sistema de água recuperada da planta. É adicionado o floculante de NaOH e amido gelatinizado a 5%, agente depressor dos minerais de ferro.

A flotação é desenvolvida em colunas, em três estágios, para maximização da recuperação.

O rejeito *scavenger*, rejeito final, é bombeado para a barragem, em tubulação independente da adutora de lamas, depois de neutralizado através de injeção de CO₂.

O concentrado *cleaner*, concentrado final com teor de sílica inferior a 1%, é enviado para o espessador de alimentação da filtragem.

- Filtragem e empilhamento do Pellet Feed Fines

O concentrado produzido na flotação é conduzido para um espessador do qual é bombeado para um tanque de regularização para alimentação da filtragem sendo, por fim, o filtrado bombeado para um espessador de concentrado.

A torta, com 9% de umidade, é descarregada em um transportador de correia e deste, é transferida para uma empilhadeira radial para formação da pilha de *Pellet Feed Fines*.

- Retomada e embarque dos produtos

Os produtos estocados no pátio são retomados por uma *bucket wheel reclaimer* e transportados por um transportador de correia de longa distância para um silo localizado no Terminal Ferroviário de Andaime, para carregamento das composições ferroviárias com destino ao Terminal Marítimo de Guaíba.

8.1.6 Mina da Jangada

A jazida de ferro da Jangada encontra-se localizada na Serra do Curral, nos limites dos municípios de Sarzedo e Brumadinho, predominantemente neste último, nos locais denominados Jangada, Samambaia e Mangaba.

A Serra do Curral corresponde a um extenso e linear *hog back*, de direção NE-SW, com flanco NW abrupto, possuindo mais de 60 km de comprimento e ocupando toda a borda SE da Grande Belo Horizonte. A porção sudoeste da Serra do Curral, localmente denominada Serra da Jangada, é a feição geomorfológica predominante nos limites definidos na Portaria de Lavra nº 31.358 de 21/02/1978 que autoriza a MBR a lavrar minério de ferro na área em foco, constituindo elevações de 1350 m, sustentadas pela formação ferrífera Cauê.

O corpo de minério principal corresponde a uma lente de hematita compacta encaixada em rochas metassedimentares invertidas. Essa lente apresenta um aspecto tabular, tendo a sua lapa constituída por itabiritos e sua capa por filitos e quartzitos. Um sistema de fratura é responsável pela presença do alto fósforo identificado precisamente nestes planos de

descontinuidade. O referido corpo de minério possui uma extensão de 1.000 m, espessura média de 120 m e uma profundidade máxima de 180 m.

A Mina da Jangada foi esporadicamente explorada e explotada por vários grupos empresariais num passado mais distante. Os direitos minerais foram inicialmente concedidos, em 1936, para a Societè Civile das Minas de Ferro de Jangada que mudou a sua razão social, em 1942, para Companhia Minas da Jangada. Os direitos minerários foram adquiridos pelo Grupo Jafet em 1961 e passados para a Icominas S.A. - Empresa de Mineração.

Esta mina passou para as mãos da MBR em 1965 e vem sido ininterruptamente lavrada desde 1974. Em 1981 a MBR celebrou um contrato de arrendamento com a Itaminas Comércio de Minérios S.A. que explotou a propriedade mineira até o final do ano de 2000, tendo-se lavrado 75 Mt de hematita e itabiritos ricos, em uma média anual de 3,5 Mt. Os produtos gerados foram essencialmente bitolados com dimensões acima de ¼", já que as granulometrias mais finas se caracterizavam por alto teor de fósforo, sílica e alumínio, indesejáveis pelo mercado.

Em fevereiro de 2001, a MBR assumiu o gerenciamento das operações de lavra, encetou novas pesquisas e reavaliou o depósito, contornou o problema da presença de fósforo no minério e reportou a produção para patamares mais elevados.

- Recursos e Reservas

Os recursos de hematitas e itabiritos ricos na Mina de Jangada, conforme estimativas de 2002, são os seguintes:

- Recursos medidos: 40,958 Mt
- Recursos indicados: 26,214 Mt
- Recursos inferidos: 24,466 Mt
- Total: 91,638 Mt

Com base nestes recursos, estudos de planejamento mineiro, envolvendo o estabelecimento de cavas de exaustão por métodos otimizantes e seqüenciamento da produção apontaram reservas lavráveis de ordem de 66 Mt de minério e relação estéril/minério de 0,85/1 (t/t). Os produtos a serem gerados somam 41 Mt o que representa uma recuperação no processo da ordem de 62%.

- Mineração

A lavra na Mina de Jangada corresponde ao procedimento convencional a céu aberto, com bancadas de 10 m de altura e equipamentos de porte médio atuando em várias frentes para proporcionar um bom *blending* atenuando os valores de fósforo.

A cava de exaustão projetada por métodos otimizantes, obedece aos seguintes parâmetros geotécnicos:

- Ângulo geral de taludes: 43°
- Ângulo individual de talude: 57°
- Largura das bermas: 8m
- Altura do banco: 10m

O programa de produção a longo prazo (LTDP – Long term developmental plan) para a mina da Jangada prevê a produção de 4,5 Mt/ano de minério com uma relação estéril/minério média de 0,85/1 (t/t). Este ano (2005) a mina está produzindo 5Mt de minério e 7Mt de estéril.

- Beneficiamento

A instalação de Tratamento de Minérios da Jangada – ITM4, cujo fluxograma se apresenta na [FIG. 50](#), está capacitada para tratar as 4,5Mt/ano previstas no LTDP. O fluxograma apresentado é auto-explicativo, compreendendo as seguintes operações básicas:

- Britagem primária do minério em britador mandibular do tipo universal em circuito aberto;
- Britagem secundária do minério em britadores de cone fechando circuito com peneiras vibratórias;
- Produção do granulado (LO e HT- hematitinha) por peneiramento a úmido;
- Obtenção de *sinter feed* com apoio em classificadores espirais.

O *overflow* dos classificadores espirais vai para a barragem de rejeitos que é constituída por ciclonação.

A MBR estudou e já está implantando uma melhoria no processo que se reporta ao enriquecimento do produto com apoio em separadores de rolos com imã permanente de terras raras.

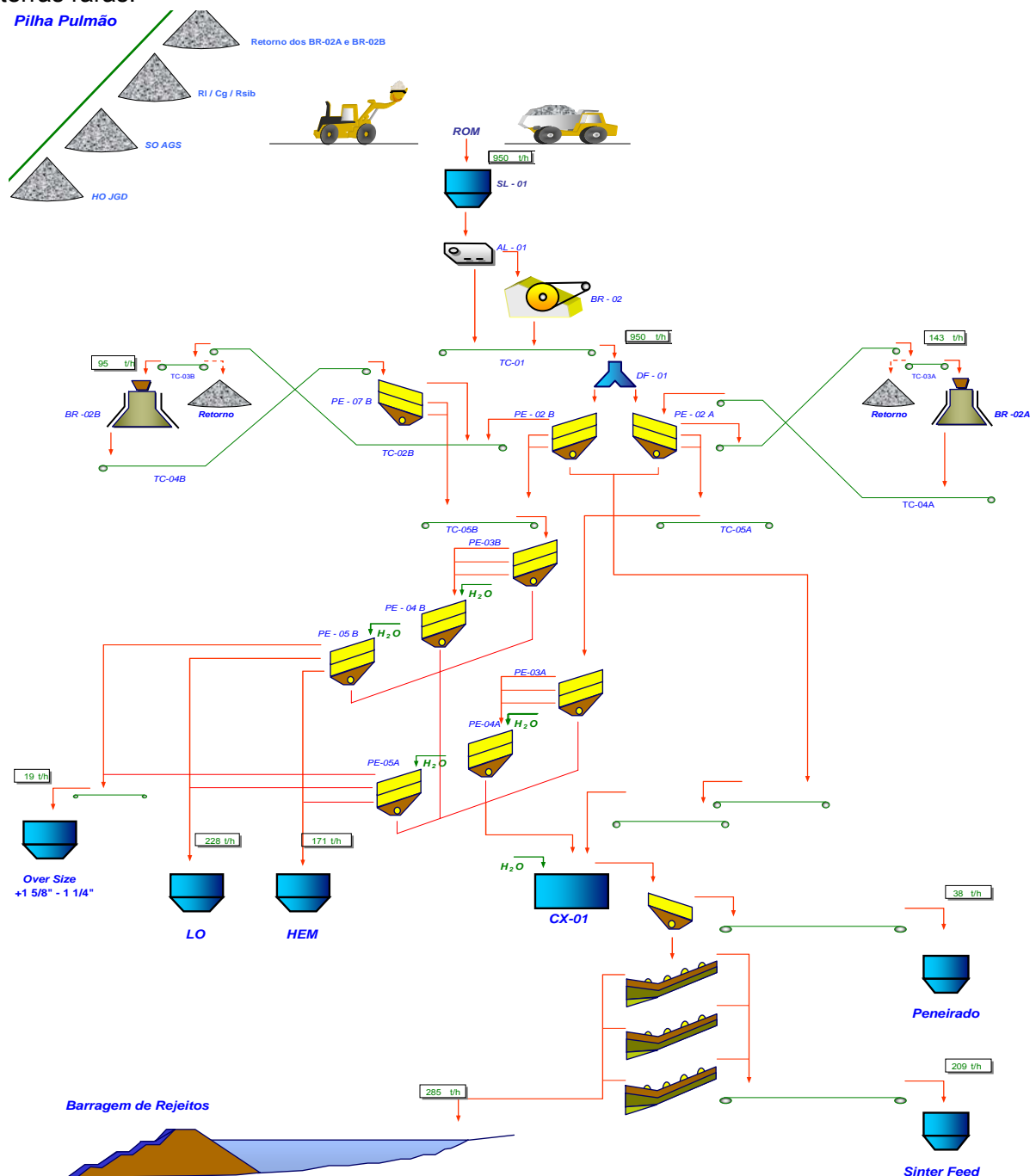


FIGURA 50 – Fluxograma de beneficiamento da Mina da Jangada.

8.1.7 Mina de Capão Xavier

A mais nova mina da MBR é a Mina de Capão Xavier, localizada na aba leste do Sinclinal da Moeda, possuindo uma lente de hematita predominantemente macia, conformando-se com o sinclinal da estrutura local.

O corpo de minério está limitado a sudoeste por argilas (bauxita e argila caulínica) que são exploradas na localidade de Vargem do Óculo e, a nordeste, por filitos da Formação Batatal.

A extensão do corpo de minério é de 1600 m e a espessura média 700 m, com uma profundidade máxima de 250 m da superfície.

A reserva total lavrável é constituída por hematita de alto teor, estimada em 175 Mt, além de itabiritos ricos da ordem de 90 Mt.

O minério de Capão Xavier será lavrado por métodos convencionais a céu aberto, tendo-se todavia cuidados especiais para não turbar a vizinhança, pois a mina fica ao lado do bairro Jardim Canadá. O minério produzido é encaminhado por caminhões, trafegando em estrada especial, para a Instalação de Tratamento de Minérios de Mutuca cujo circuito encontra-se apresentado na FIG. 44.

Outro destaque da mina de Capão Xavier reporta-se a sua proximidade de mananciais da COPASA – Cia de Saneamento de Minas Gerais que atendem a demanda de bairros da zona sul da cidade de Belo Horizonte. A fim de bem avaliar os impactos do rebaixamento do nível d'água nos mananciais da COPASA, a MBR desenvolveu no prazo de três lustros, através de seus profissionais e renomados consultores brasileiros e estrangeiros (entre eles cabendo destaque ao professor Rafael Fernandez Rubio da Universidade de Madrid) talvez o mais completo e detalhado serviço de hidrogeologia mineira que se tem notícia no estado de Minas Gerais e foram debatidos em audiência pública para a obtenção de licenciamento e não sofreram nenhuma contestação técnica. Por este motivo o COPAM resolveu acatar o estudo e dar as licenças pertinentes à empresa de mineração.

8.1.8 Súmula das operações da MBR na APA Sul RMBH

Para que o leitor tenha a ordem de grandeza das operações da MBR na APA Sul RMBH, apresenta-se em seqüência uma súmula das operações da empresa em meados do ano de 2005 (TAB. 19).

TABELA 19 - Minas da MBR em Operação

MINAS	Minério Mt/a	Estéril Mt/a	REM*
Pico, Galinheiro, Sapecado	17	23	1,35
Abóboras	2	2	1,00
Tamanduá	11	17	1,55
Capitão do Mato	12	13	1,08
Jangada	5	7	1,40
Capão Xavier	9	7	0,78
TOTAL	56	69	1,23

* - relação estéril/minério

Estas operações minerárias, portanto removem anualmente as expressivas massas de 56Mt de minério e 69Mt de estéril (que somam 125 Mt de *Rom ore plus wash*).

Os minérios beneficiados nas várias instalações de tratamento de minério retro descritas, produzem 45Mt de concentrados comercializados (TAB. 20).

TABELA 20 - Minério Beneficiado pelas Instalações de Tratamento da MBR.

PRODUTOS	MASSA (Mt)
LO + hematitinha	15
Sinter feed	23
Pellet Feed Fines	7
TOTAL	45

O rendimento ponderal médio das concentrações é então de 45Mt/56Mt que equivale a 80%. O volume de rejeito produzido é portanto de 56-45 Mt/ano, equivalendo a 11 Mt/ano.

Como impacto no meio ambiente, ligado à produção, restam 69Mt de estéril a serem imobilizados em pilhas e 11 Mt de rejeitos estocados em barragens.

A produção mineira está ocorrendo em nível crescente e é de se esperar maiores volumes de estéril e rejeitos para os próximos anos.

8.1.9 Mina de Córrego do Feijão

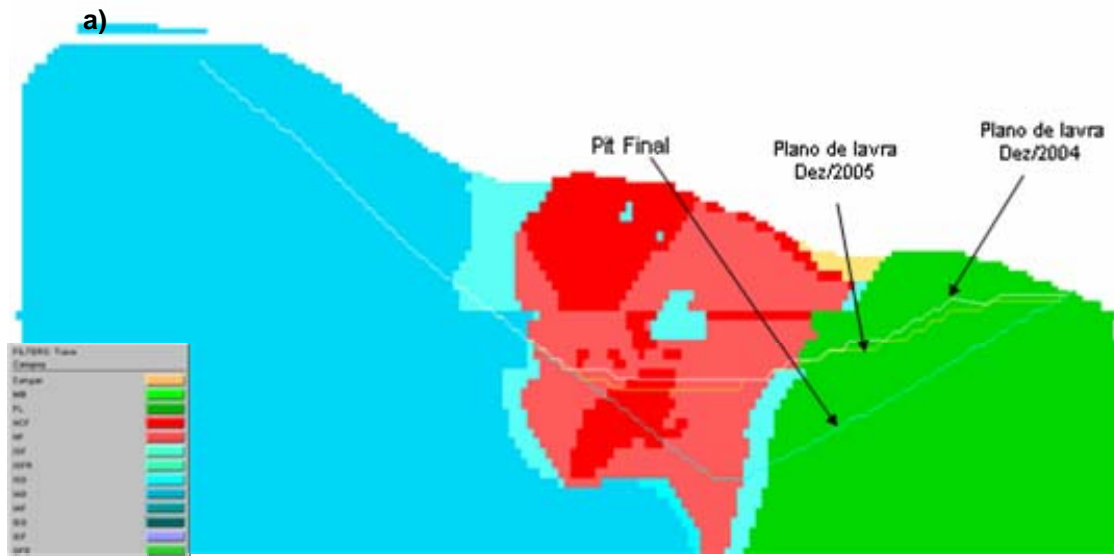
A Mina do Córrego do Feijão, recentemente adquirida da Mineração FERTECO pela CVRD, situa-se na Serra dos Três Irmão, denominação local da Serra do Curral, no Município de Brumadinho.

A Mina em tela possuía furos de sonda que não atravessavam o minério bem como exibiam uma borda mineralizada mal definida. Assim, a CVRD programou e lançou novos furos de sondagem, o que possibilitou a ampliação dos recursos e reservas do depósito e, por consequência, estender a vida da mina e ainda ampliar a sua escala de produção.

A lavra da jazida é a céu aberto, com bancos de 10 metros de altura e se faz com auxílio de equipamentos convencionais de mineração. Lavra-se hematitas e itabiritos ricos no ritmo de 7,4 Mt/ano que, levados à planta de beneficiamento, produz 20% de granulados (LO), 40% de *sinter feed* e 20% de *pellet feed fines*, com um rendimento ponderal de cerca de 80%. A relação estéril/minério encontra-se por volta de 1,30 (t/t). A mina deverá ainda ampliar as suas produções passando a produzir 7,7 Mt/ano de minério já para o próximo ano, com escalonamento para 9,4 Mt/a e 10,0 Mt/a, onde se estabiliza. A relação estéril/minério global projetada é 1,5 (t/t).

As **FIGs. 51** a e b mostram excertos de planejamento mineiro da Mina de Córrego do Feijão, com base em softwares de mineração, em conformidade com as melhores práticas internacionais.

Seção Geológica típica



Blocos de Hematita no Plano de Lavra 2005

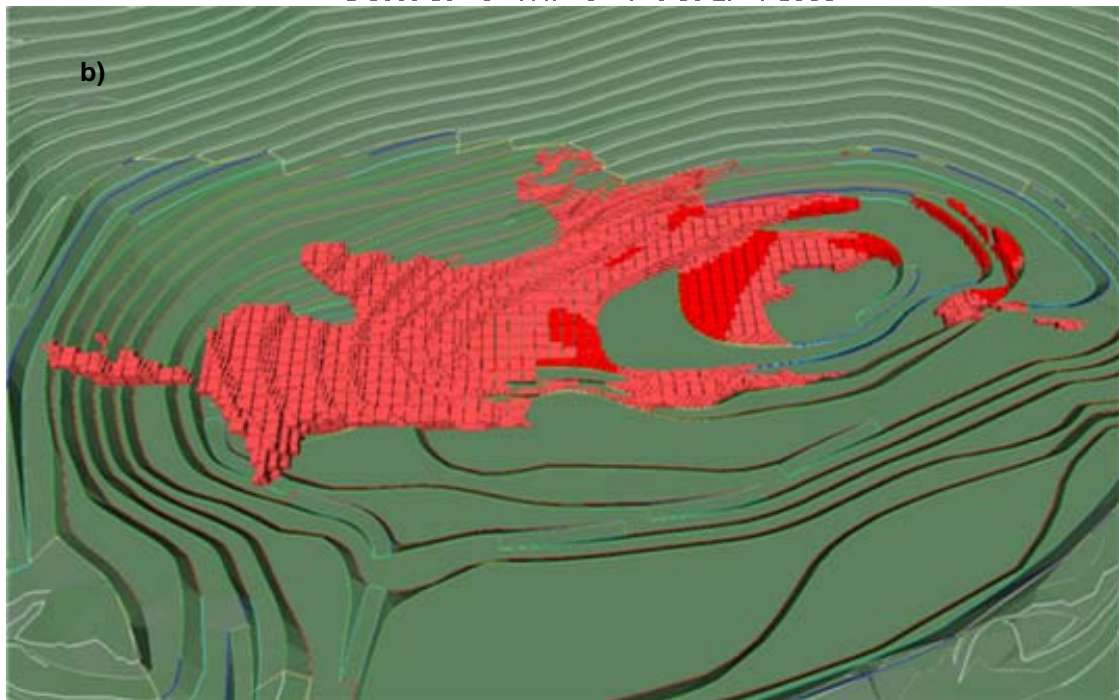


FIGURA 51 a e b – Excertos de Planejamento Mineiro da Mina de Córrego do Feijão.

A FOTO 19 apresenta panorâmica da Mina de Córrego do Feijão, operação esta que goza de excelente reputação, por muitos motivos, um deles é pelo seu belo aspecto visual. Trata-se de uma lavra muito bem conformada e agradável de ver.



FOTO 19 – Mina do Córrego do Feijão.

A FIG. 52 apresenta o fluxograma do processamento mineral, cabendo destacar que o mesmo é baseado em peneiramento a úmido, onde se obtém o produto granulado (LO – *lump ore*) e por classificadores espirais onde se obtém os finos para sinterização (SF – *sinter feed*). Estes finos ainda são enriquecidos em separadores magnéticos. A hematita de Córrego do Feijão possui alguma magnetita em seu interior o que possibilita este tipo de enriquecimento.

Os impactos ambientais causados por esta mineração são de pequena monta e muito bem conhecidos, envolvendo poeiras, ruídos, interferência nas águas superficiais e subterrâneas etc.

8.1.10 Mineração Rio Verde

A Mineração Rio Verde situa-se à margem esquerda da BR-040, de quem viaja no sentido Belo Horizonte-Rio de Janeiro, bem próxima ao perímetro urbano da capital mineira. A Mineração detém três títulos de lavra de minério de ferro em áreas contíguas, situadas na Região da Mutuca, no Município de Nova Lima, conforme abaixo nomeados.

Mina	Título Minerário	Titular	DNPM
Norte	Manifesto da Mina nº412	Márcio Resende Lima	3138/35
Sul	Manifesto da Mina nº412	Mineração Rio Verde Ltda	839/66
Técnica	Decreto de Lavra 63075/68	Emp. Com. Técnica de Minérios S.A.	7855/57

A geologia básica da área é aquela descrita por Pomerane (1964), quando mapeou a Quadrícula de Macacos. O minério de ferro é inexoravelmente relacionado a Formação Ferrífera Cauê, cujo protominério foi enriquecido supergenicamente pelo intemperismo.

Os recursos minerais do depósito foram avaliados com base em interpretações de fotos aéreas, mapeamento geológico de superfície na escala 1:2000 e seções verticais. A malha de sondagem encontra-se muito aberta pelos padrões atuais de pesquisa geológica. A avaliação das massas mineralizadas foi feita pelo método clássico de seções e os resultados desse trabalho encontram-se apresentados na TAB. 21 com auxílio do Software Lynx.

TABELA 21 - Recursos minerais da Mineração Rio Verde

MINA NORTE - RESERVAS (t x 10⁶)				
	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
HEMATITA BRANDA	0,27	1,22	8,87	10,36
ITABIRITO BRANDO	11,25	25,41	76,56	113,22
ITABIRITO DURO	2,11	2,71	3,74	8,56
ITABIRITO CARBONÁTICO	1,01	4,56	5,54	11,11
Si (ITAB. BRECH/SILIC.)	1,03	0,84	5,49	7,36
TOTAL (t x 10⁶)	15,67	34,74	100,2	150,61
MINA SUL - RESERVAS (t x 10⁶)				
	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
HEMATITA BRANDA	0,05	0,00	0,09	0,14
ITABIRITO BRANDO	9,71	19,21	52,39	81,31
ITABIRITO DURO	0,00	0,00	0,22	0,22
ITABIRITO CARBONÁTICO	0,00	2,23	3,66	5,89
Si (ITAB. BRECH/SILIC.)	2,22	1,71	8,18	12,11
TOTAL (t x 10⁶)	11,98	23,15	64,54	99,67
MINA TÉCNICA - RESERVAS (t x 10⁶)				
CORPO E	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
CANGA	0,20	0,00	0,00	0,20
HEMATITA DURA	4,40	0,42	0,00	4,82
HEMATITA BRANDA	5,42	0,00	0,00	5,42
HEMATITA PULVERULENTA	16,46	4,17	0,45	21,08
ITABIRITO BRANDO	9,17	1,43	5,05	15,65
TOTAL (t x 10⁶)	35,65	6,02	5,50	47,17
CORPO W	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
CANGA	1,97	0,52	0,00	2,49
HEMATITA BRANDA	3,67	0,81	0,00	4,48
ITABIRITO BRANDO	9,56	6,81	0,00	16,37
TOTAL (t x 10⁶)	15,20	8,14	0,00	23,34

Como se vê, os avaliadores envolvidos no assunto preocuparam-se muito mais com medidas de volumes de corpos geológicos do que com a interpolação dos teores. Os procedimentos usados não atendem os modernos padrões internacionais de quantificação de recursos mas, aparentemente, são satisfatórios para os propósitos da empresa.

As reservas (lavráveis) estimadas pela GEOTECMIN – Geologia e Tecnologia Mineral Ltda. assinalam os valores:

Mina	Reservas (Mt)
Norte	205,74
Sul	184,79
Técnica	76,61
Total	467,14

A lavra é completamente a céu aberto. Com apoio em equipamentos convencionais de terraplanagem, tem-se como taxas anuais aproximadas de 3,15 Mt de minério e 5,84 Mt de estéril, correspondendo a uma REM de 0,45 / 1.

Os parâmetros geotécnicos adotados na mineração são:

- Altura média dos bancos: 8m
- Ângulo médio de talude:
 - Em trabalho $\cong 80^\circ$ (subvertical)
 - De encosto $\cong 56^\circ$ (1,5V=1,0H)
- Bermas de segurança: 4 m
- Ângulo médio individual de talude para o depósito de estéril: 34° (VI = 1,5H)
- Altura média dos bancos de estéril: 10 m
- Berma mínima: 5 m

A Mineração Rio Verde possui duas unidades de tratamento de minério, denominadas ITM-3 e ITM-4. Nas duas instalações o minério é submetido apenas aos processos de fragmentação e classificação granulométrica. A diferença básica entre estas duas plantas é que em uma o processo é a úmido, enquanto que na outra não, além do porte das máquinas envolvidas.

A ITM-3, mais antiga, trabalha a úmido, gerando finos, além de ser de menor porte. A ITM-4 inaugurada no ano 2000, funciona atualmente a seco, é de maior porte e não gera rejeito.

- Instalação de Tratamento 3 – ITM-3 (úmida)

Sua capacidade de produção é de 700t/h. Nas condições normais de operação da planta, obtém-se a seguinte composição de produtos/rejeito:

- NPO/hematitinha: 238 t/h
- *Sinter feed*: 231 t/h
- Finos (abaixo de 100 mesh): 231 t/h

A qualidade média dos produtos é apresentada na TAB. 22.

TABELA 22 – Qualidade média dos produtos da ITM-3

	NPO (%)	NPO Silicoso (%)	Hematitinha (%)	Sinter Feed (%)	Sinter Feed Silicoso (5)	Finos (%)
Fe	>64,00	>50,00	>64,00	>64,00	>60,00	>60,00
SiO ₂	<4,50	<25,00	<4,50	<4,50	<12,00	<7,00
Al ₂ O ₃	<1,80	<1,20	<1,80	<1,80	<1,20	<2,00
P	<0,07	<0,40	<0,07	<0,07	<0,04	<0,77
Mn	<0,70	<0,40	<0,70	<0,70	<0,40	<0,70
PPC	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,50
>19,0mm	70,96	-	3	-	-	-
>12,5mm	90,28	-	37	-	-	-
>6,3mm	94,28	-	95	10	10	-
>1,0mm	-	-	-	60	50	-
<0,15mm	-	-	-	18	20	-

- Instalação de Tratamento 4 – ITM-4 (seco)

Esta instalação é composta por um silo de alimentação, alimentador vibratório, britador primário Nordberg VB-1210, peneiramento com telas de 70mm, 50mm e 40mm, britagem secundária em circuito fechado com dois britadores de cone OMN 937 e repeneiramento em peneiras com 3 decks de 22mm, 15mm e 8mm.

A TAB. 23 apresenta a qualidade média dos produtos.

TABELA 23 – Qualidade média dos produtos na ITM-4

Produto	Fe (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P(%)	Mn (%)	PPI (%)
NPO	>64	< 4,50	< 1,80	< 0,07	< 0,70	< 2
Hematitinha	>64	< 4,50	< 1,80	< 0,07	< 0,70	< 2
Fino Comum	>64	< 4,50	< 1,80	< 0,07	< 0,70	< 2

No tocante ao impacto ambiental não se pode esquecer a ruptura da barragem que guardava os finos estocados na Cava 2. Estruturas civis entraram em colapso quando os esforços solicitantes superaram os resistentes e isto acontece por erros de projeto, de construção, de operação e de manutenção da estrutura. Após o acidente, medidas têm sido adotadas para evitar que fatos dessa natureza possam se repetir.

As FOTOS 20 a 22 mostram uma vista da Mina Rio Verde e as ITM 3 e 4.



FOTO 20 – Vista da Mina Rio Verde.



FOTO 21 – Instalação de Tratamento de Minério – ITM-3.



FOTO 22 – Instalação de Tratamento de Minério – ITM-4.

8.1.11 Mina do Pau Branco

A Mina do Pau Branco situa-se à margem da BR 040. Trata-se de uma mina em cava já bastante profunda. A mina é propriedade da V&M Mineração, sucessora da Mannesmann Mineração. Não se conseguiu obter dados dessa mineração, bem como se tem pouca notícia desta operação na literatura técnica.

A lavra é toda levada a cabo por métodos a céu aberto em bancadas de 10 metros. As revistas especializadas assinalam que esta mina produz cerca de 2Mt de minério bruto e pouco menos que esta cifra de minério beneficiado, por simples classificação a úmido.

8.1.12 Outras Minas de Ferro

Na APA Sul RMBH operam algumas pequenas minerações de ferro tais como a Mineral do Brasil, às vizinhanças da Mina do Córrego do Feijão e a Mineração Herculano em Sapecado, operação vizinha à mina homônima da MBR.

8.2 Minas de Ouro

No contexto das minas de Ouro na APA Sul RMBH, cabem três citações de minerações existente na área, nenhuma delas de maior expressão:

- Mineração Itajobi, em Córrego do Sítio;
- Mina do Engenho D'Água;
- Minas desativadas com geração de águas ácidas.

8.2.1 Mina de Córrego do Sítio

Os depósitos auríferos do Distrito Metalogenético de Nova Lima localizam-se no topo da Unidade Metavulcânica Inferior e próximo do topo da Unidade Metassedimentar Química do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas estando alojados nas denominadas unidades Córrego do Sítio (lapa-seca) e Ouro Fino.

A Mina de Córrego do Sítio pertence à Mineração Itajobi, uma empresa do Grupo Anglogold, explora pequenos depósitos de minério de ouro oxidado, relacionados à localmente denominada Formação Ferrífera Bandada Raposos. Situa-se na comunidade de Córrego do Sítio, distrito de Brumal, Município de Santa Bárbara.

As atividades da mina de Córrego do Sítio iniciaram-se em março de 1991 e estenderam-se até o primeiro semestre de 1998, quando com a queda do preço do ouro, inviabilizada a operação. Com a retomada do preço do ouro, reativou-se a lavra da jazida pois toda a indústria já estava montada, explotando-se as reservas remanescentes.

A origem do minério oxidado é o minério sulfetado. Sabendo-se que a ocorrência do minério oxidado implica na existência do sulfetado sotoposto, a Mineração Itajobi realiza pesquisas na área para identificação de corpos de sulfeto em subsuperfície.

No passado, a Mineração Itajobi explotou o minério de ouro nos locais denominados Candeias, Grotta Funda, Rosalino, Lajeado, Mutuca, Cachorro Bravo, Cristina e Crista-Laranjeiras.

Destas mineralizações, restam ainda reservas nos locais denominados Cachorro Bravo, com 427.139 t de minério associado ao teor de 7,22 gAu/t e 7.240.347 t de estéril e em Crista, com 74.779 t com 4,17 gAu/t e 931.443t de estéril.

Não há dificuldade alguma na lavra do minério de ouro próximo à superfície com equipamentos tradicionais de terraplenagem, existindo muitas empresas que gostariam de fazê-lo.

O processamento de minério segue o esquema clássico da lixiviação em pilhas, mantendo-se a antiga escala de produção máxima de 240.000 t ROM ore por ano. Essas atividades vêm sendo executadas por uma equipe de cerca de 160 pessoas, ao ritmo de 330 dias/ano, 7 dias/semana e dois turnos de trabalho diário de 10 horas cada. Estão previstos 35 dias de paralização por ano por conta de chuvas intensas.

O processo metalúrgico projetado para Córrego do Sítio é descrito na [FIG. 53](#).

- Britagem:

Os caminhões basculam o minério diretamente em uma grelha vibratória que alimenta um britador de mandíbula Faço, modelo MB 80 X 50 C. A descarga deste britador alimenta uma peneira vibratória Faço equipada com dois decks sendo um com abertura de 1 polegada e o outro de $\frac{3}{4}$ de polegada. Esta peneira está em circuito fechado com um moinho de martelos Faço, modelo MM 75 X 100. O *under size* da peneira, minério abaixo de $\frac{3}{4}$ de polegadas, recebe a adição de cimento na razão de 7 kg/t e é aglomerado em um tambor aglomerador. Nesta etapa é adicionado 100 g/t de cianeto de sódio cuja finalidade é de iniciar a lixiviação mesmo antes da aspersão de solução de cianeto de sódio. A umidade da aglomeração é controlada em torno de 15%. O minério aglomerado é transferido para a pilha através de transportadores e empilhado por um transportador radial de seis metros de altura. O minério transportado é amostrado para determinação do teor de ouro.

- Lixiviação

A lixiviação é iniciada após a pré-cura do material aglomerado de no mínimo de 72 h, tempo necessário para se obter uma boa resistência do aglomerado. A solução lixiviante, contendo aproximadamente 350 ppm de cianeto de sódio, é aspergida sobre a pilha na razão de 10 l/h/m², durante aproximadamente 60 dias, tempo médio do ciclo de lixiviação onde normalmente se obtém uma recuperação de aproximadamente 87% do ouro contido. A pilha exaurida é lavada, o cianeto residual é neutralizado com uma solução de peróxido de hidrogênio e uma amostragem com trado é feita sobre o topo da pilha para determinação do teor de ouro do rejeito e de cianeto residual.

A planta de lixiviação em pilhas da Mina Córrego do Sítio terá capacidade para 20.000 t/mês. O método utilizado será de pilhas reutilizáveis.

- Adsorção

A adsorção do ouro da solução é realizada em um conjunto de cinco colunas com volume útil de 3,9 m³, dispostas em série, contendo cada uma cerca de 750 Kg de carvão ativado.

A solução pobre é retornada para a lixiviação das pilhas após o *make up* do cianeto de sódio.

- Dessorção e Eletrólise

A dessorção do ouro do carvão é feita em duas colunas com volume de 3,9 m³ cada, a uma temperatura de 95 graus centígrados. O processo de dessorção dura no máximo 72 h. A solução dessorvida alimenta uma cuba eletrolítica, na razão de 6 m³/h, cujos cátodos são de palha de aço, onde o ouro metálico é depositado. Duas vezes por mês, é feita a estripagem dos cátodos. A palha de aço, contendo ouro impregnado é embalada em sacos plásticos e enviada para a fundição através de carro forte.

- Remoção do Rejeito

A remoção do rejeito da pilha exaurida e neutralizada é feito com escavadeira e transportado em caminhões até o depósito de rejeito.

- Ciclo das Pilhas

Formação	0 dias
Lixiviação	60 dias
Neutralização	15 dias
Lavagem	4 dias
Drenagem	5 dias
Remoção	20 dias
Total	134 dias

- Recuperação Metalúrgica

Levando em consideração a cava do Cachorro Bravo cuja profundidade atingirá a zona de transição do minério oxidado com o sulfetado, ficou decidido que a recuperação metalúrgica desta mina fosse estimada em 85% e para as minas de Lajeado e Carvoaria Velha fosse mantida a recuperação prevista de 90%.

- Controle Ambiental

Envolve os seguintes procedimentos:

- Amostragem da pilha exaurida após neutralização com peróxido de hidrogênio para determinação de Cianeto livre e pH;
- Amostragem e análise mensal do lençol nível d'água subterrâneo, através dos piezômetros a montante e a jusante do depósito de rejeito para análise completa de contaminantes;
- Inspeção semanal dos drenos de segurança, dispostos sob a manta impermeável das bases das pilhas;
- Amostragem antes e depois do processo de neutralização da solução com cianeto residual, quando da necessidade de se proceder o descarte da solução. O descarte só é feito após a constatação de que os parâmetros ambientais estão dentro dos limites aceitáveis.

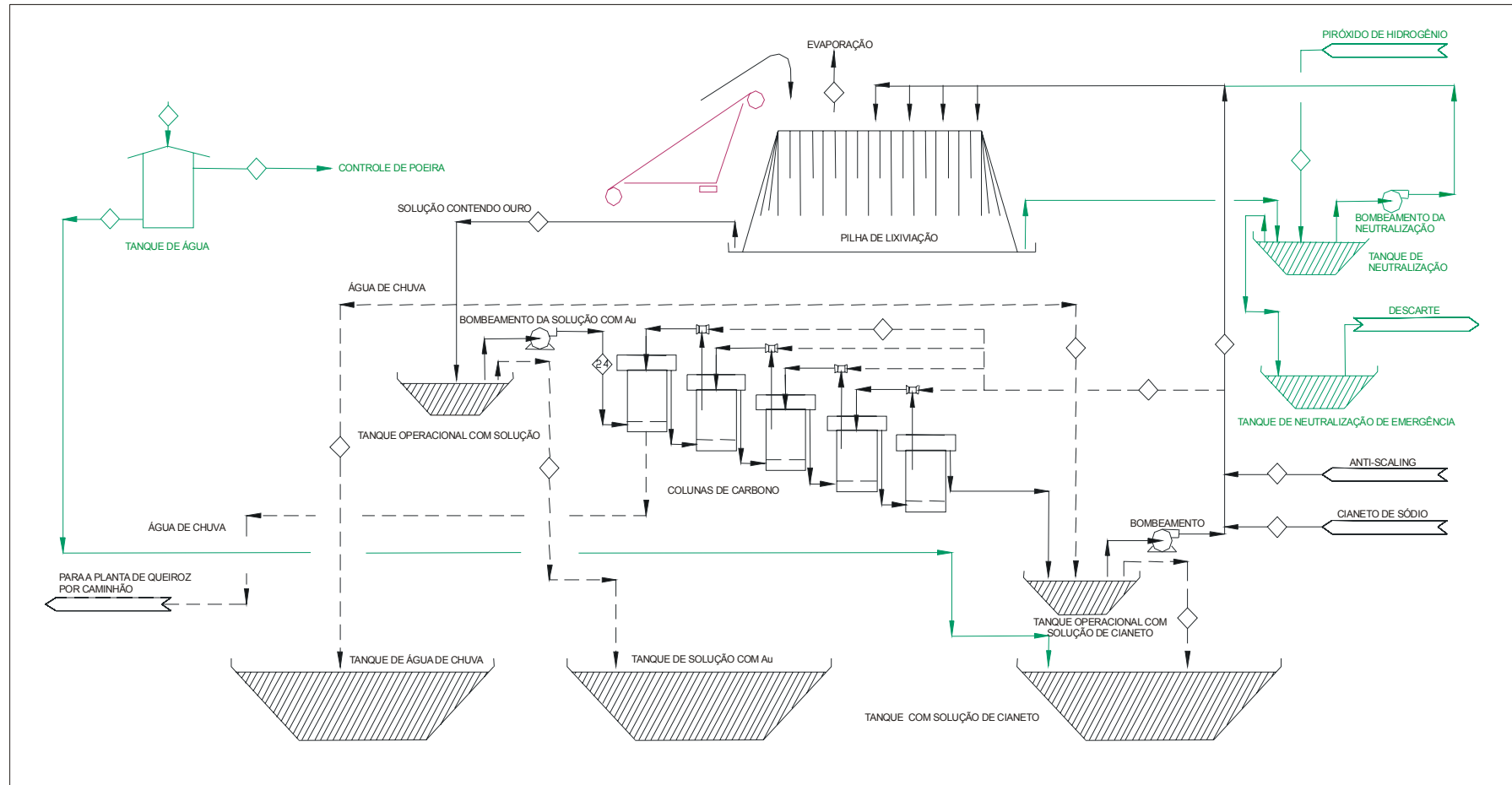


FIGURA 53 – Planta de lixiviação em pilha para a Mina Córrego do Sítio.

8.2.2 Mina do Engenho D'Água

Trata-se de uma pequena jazida de ouro já explotada pela AngloGold por métodos artesanais, correspondendo a um depósito rico de veio muito delgado. O sistema de exploração envolveu detonação e carregamento de um caminhão pequeno de 6 toneladas por uma retro escavadeira, no fundo de uma cava bastante fechada e com pouco espaço para manobra de equipamentos. O minério produzido foi levado para a Planta do Queiroz.

8.2.3 Minas do Faria e Esperança III

São antigas minas de ouro contido em sulfetos e hoje desativadas que desenvolveram o fenômeno de drenagem ácida. A AngloGold responsável por esse passivo ambiental tenta atenuar o efeito dessas águas pela técnica da *wetlands*. Para alguns especialistas este procedimento é paliativo, pois trata os efeitos e não as causas. Conforme visto, a água ácida de minas é desenvolvida quando se têm simultaneamente quatro condições: sulfetos, água, oxigênio e a bactéria *Tiobacillus ferrooxidans*. Suprimindo qualquer um destes participantes cessa-se a água ácida da mina. Assim, o procedimento definitivo, agindo sobre as causas seria o tamponamento da mina, pois cessando-se a circulação da água e cortado o oxigênio elimina-se definitivamente o problema.

8.2.4 Outras Minerações

Existem alguns outros poucos empreendimentos mineiros, de pequeno porte, situados na APA Sul RMBH, que pela reduzida expressividade frente à mineração de grande e de médio portes, são apenas citados, como:

- Pequenas minas de bauxita por sobre a Formação Gandarela, no sinclinal homônimo;
- Mina da Mostarda, da Pedras de Congonhas, correspondendo à extração do serpentinito da Formação Quebra Ossos/Córrego dos Boiadeiros para fins siderúrgicos;
- Minas de calcário na Formação Gandarela, etc.

9. CONCLUSÕES

O Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais é uma das províncias minerais mais famosas do mundo, associada a uma plethora de depósitos minerais de valor econômico, notadamente ferro e ouro, mas também ouro e urânio, manganês, alumínio (bauxita), calcário etc. A APA SUL RMBH é uma importante parte integrante do referido domínio.

A mineração está entranhada na alma do habitante da região desde a época do Brasil Colônia, chegando aos dias de hoje com um altíssimo grau de sofisticação. O Estado de Minas Gerais é a segunda economia do Brasil e esta posição é assegurada, em sua grande parte, pela mineração. Portanto, a mineração deve ser levada em conta ao se proceder qualquer zoneamento ecológico.

A mineração, pela sua própria definição, causa impactos ao meio ambiente e estes deverão ser cuidadosamente estudados e minimizados. A mina altera o local onde se estabelece e produz minério - o qual é consumido - e estéril. Este estéril deve ser disposto (empilhado), estabilizado e, em seqüência, vegetado. As instalações de tratamento de minério/metalurgia produzem concentrados ou metais (vendáveis) e rejeitos que devem ser cuidadosamente estocados. A engenharia nacional, em especial a engenharia mineral, é bastante avançada, comparável à engenharia praticada nos países mais desenvolvidos do mundo (v.g. USA, Canadá, Europa, Austrália) e está dando o devido suporte à nossa mineração. O aproveitamento do bem mineral jacente no subsolo, há que ser feita de forma racional, sustentável e socialmente comprometida, pois alavanca o desenvolvimento da região, estado e país.

No passado, o Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais destacou-se pela mineração de ouro, tendo gerado impressionante riqueza para Portugal e belíssimas obras de artes para o Brasil, como as cidades históricas de Minas Gerais. Entretanto, o “minério da vez” é o ferro que está gerando expressiva riqueza para o Estado e seus cidadãos.

Conforme é muito bem sabido, existem dois tipos de minério de ferro: os ricos - ou as hematitas (com Fe \geq 64%); e os pobres - ou itabiritos (com Fe < 64%). Até a década de 70 só se produziam minérios ricos, as hematitas. A exploração dos itabiritos vem gradativamente crescendo a partir dos anos 70 e vem tomando cada vez mais corpo, pois os minérios ricos estão se exaurindo. Daqui a poucos lustros não haverá mais hematita e as lavras naturalmente se deslocarão para os itabiritos ricos e friáveis, depois para os intermediários e num futuro muito distante, possivelmente até para o protominério duro e pobre.

O setor mineral deve estar (e efetivamente estará) preparado para as novas situações. Assim, todas as empresas de mineração, universidades, instituições de pesquisa voltam seus esforços para os itabiritos. A título de exemplo, o Complexo do Pico já sondou todos os seus itabiritos (antes considerados estéreis) na malha 200 m × 400 m e certamente deverá cerrar esta malha para 50 m × 50 m, para possibilitar uma boa avaliação em nível local. Mesmo com um conhecimento não detalhado de seus minérios pobres, a MBR, face a elevadíssima demanda, está projetando uma instalação de beneficiamento de itabiritos que exigirá um investimento orçado em US\$ 250 milhões. A esta nova planta de concentração seguirá uma planta de pelotização (o mais nobre produto do minério de ferro) de capacidade de 6 milhões de toneladas anuais, associada ao investimento de US\$ 800 milhões.

As coisas estão, pois, acontecendo e muito mais está por vir. Conforme visto, os minérios hematíticos normalmente são desdobrados em seus produtos granulados (LO – *lump ore* e hematitinha), SF – *sinter feed* e PFF – *pellet feed fines*, mais lamas. Uma partição típica do beneficiamento da hematita poderia ser 80% de produtos vendáveis (granulado + finos) e 20% de lamas (abaixo de 5, 10 ou 20 μm). No processamento dos itabiritos esta partição irá mudar pois além das lamas, o processo gera rejeitos, o que impõe necessidades de maiores áreas para disposição deste material. Assim, novos desafios de toda ordem estão por vir e a engenharia e outros setores da sociedade devem estar bem preparados para conduzir o assunto.

Para o minério de ouro, espera-se que novos métodos de prospecção e esforços das empresas de mineração atuantes no Quadrilátero Ferrífero, e na APA Sul RMBH em particular, encontrem novos depósitos de expressivos valores econômicos. Uma área promissora para tanto é a área do Córrego do Sítio, ora em investigação pela AngloGold.

Um problema sério da mineração nacional e internacional refere-se às pequenas minerações. Normalmente estas empresas são carentes de tecnologia e assim partem para a improvisação. Comumente conduzem os seus projetos de decisões na base de tentativas e erros e muitas delas mais erram do que acertam.

Pequena mineração não deve ser tratada como um “pequeno negócio”. “Pequenos negócios”, que ocorrem por todo lado, costumam causar, quando dão errado, pequenos prejuízos. As pequenas minerações, ao contrário, são capazes de causar – e efetivamente causam – quando mal conduzidos, prejuízos muito grandes. Exemplo disto são barragens de rejeitos de pequenas minas que rompem causando prejuízos muito mais significativos que o tamanho das minerações. Seria interessante se o Estado montasse uma empresa de fomento e assessoria, bem apetrechada, de engenharia mineral. Possivelmente, a riqueza que a empresa geraria e os problemas que ela evitaria, compensaria os prejuízos incorridos sem a atuação da mesma.

Finaliza-se este documento dizendo que se tem confiança nas potencialidades minerais dos terrenos de Minas Gerais e que existe competência técnica bem como seriedade política para se levar tudo a muito bom termo.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A.C.; SOUZA, C.C.; AMARANTE, S.C.; SILVA, R.R.R. **Ore Mineralogy and its Relevance for the Selection of Concentration Methods in the Processing of Brazilian Iron Ores.** In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IRON ORES, 2002, Perth. **Anais...** Perth. 2002. Não paginada.

BABINSKI, M.; CHEMALE Jr., F e VAN SCHNUS, W. R. **Geocronologia Pb/Pb em Rochas Carbonáticas do Super Grupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 628-631.

BABINSKI, M.; CHEMALE JÚNIOR, F.; VAN SCHNUS, W. R. **Pb/Pb Age of Carbonate Rocks of the Minas Super Group, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Precambrian Research,** Amsterdam, v. 72, p. 235-245, 1995.

BALTAZAR, O.F.; ZUCHETTI, M. **Geologia Estrutural.** In: PROJETO APA SUL RMBH ESTUDOS DO MEIO FÍSICO: ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, 2005, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005.v. 1. Não paginada.

BEALL, J. V. **Mining's Place and Contribution.** New York: SME Mining Engineering Handbook, 1973. Não paginada.

CUMMING J. D.; WICKLUND, A. P. **Diamond Drill Handbook.** Toronto: J. K. Smit and Sons Diamond Products, 1975. Não paginada.

CUMMINS, A. B.; GIVEN, I. A. **SME Mining Engineering Handbook.** New York: AIME, 1973. Não paginada.

DIAMOND, J. **Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies.** New York: WW Norton & Co., 1997. Não paginada.

DORR, J. V. N. **Supergene Iron Ores of Brazil. Econ. Geol.** v. 59, p. 1203-1240, 1964.

DORR, J. V. N. **Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Boletim USGS.** Washington D. C., n. 641, 1969. Não paginada.

DOWN, C. G. ; STOCKS, J. **Environmental Impact of Mining.** London: Applied Science Publishers, 1989. Não paginada.

- DUBNIE, A. **Surface Mining Practice in Canada**. Ottawa: Mines Branch Inf., 1972. Não paginada.
- ERSAYIN, S. IWASAKI, I. **Magnetic field application in cationic silica flotation of magnetic taconite concentrates**. *Minerals & Metallurgical Processing*, Littleton, v.19, n.3, p. 148-153, 2002.
- ESCHWEGE, W. L. V. **Pluto Brasiliensis**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1933. 2 v. Não paginada.
- FRANCA, P. R. **Aspectos de Geotecnia Aplicada à Mineração**. Nova Lima: MBR, 2003. Não paginada.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1996. Não paginada.
- GIRODO, A. C. **Escavações Subterrâneas para Lavra de Minérios**. Belo Horizonte: IETEC, 1992. Não paginada.
- GIRODO, A. C. ;BERALDO, J. L. **Elementos Básicos de um Projeto de Mineração**. Belo Horizonte: IBRAM, 1981. Não paginada.
- GOMES, J. C. M. **As Minas de Águas Claras, Mutuca e Pico e Outros Depósitos de Minério de Ferro no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais**. In: **Principais Depósitos Mineraiis do Brasil**. Brasília: DNPM, 1986. v. 2 Não paginada.
- GUIMARÃES, P. F., MASSAHUD, J. S.;VIVEIROS, J. F. M de. **A Mina de Ferro de Capanema, na Parte Central do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Schobbenhaus, C. e Coelho, C. E. S. **Principais depósitos Mineraiis do Brasil**. Brasília: DNPM, 1986. v. 2 Não paginada.
- GY, P. **Sampling of Particulate Materials**. Amsterdam: Elsevier, 1982. Não paginada.
- HOEK, E.;BRAY, J. W. **Rock Slope Engineering**. 2ª ed. Ed. London: IMM, 1977. Não paginada.
- HORTA, P. **A densidade como uma variável regionalizada**. 1981. Dissertação (Trabalho de Especialização). UFOP: Ouro Preto, 1981. Não paginada.
- HOULDING, S. W. **3D Geoscience Modeling**. Berlin: Springer Verlag, 1994. Não paginada.
- HUARTE, J. P. **Procedimientos de Sondeos:Teoría, Práctica y Aplicaciones**. Madrid: Servicios de Publicaciones de La J. E. N, 1977. Não paginada.
- HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open Pit Mine Planning and Design**. Rotterdam: Balkema, 1995. 2 v. Não paginada.
- HUSTRULID, W. A. **Underground Mining Method Handbook**. New York: SME, 1982. Não paginada.
- IBAMA; INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. Não paginada.
- IBRAM; BRANDT. Meio Ambiente. **Contribuição do IBRAM para o Zoneamento Ecológico - Econômico e o Planejamento Ambiental de Municípios Integrantes da APA Sul RMBH**. Belo Horizonte: IBRAM, 2003. Não paginada.
- JAMES, H. L.; SIMS P. K. **Precambrian Iron-Formations of the World**. *Special Issue of Economic Geology*, v. 68, n. 7, p. 913-1179, 1973.
- JOURNAL, A.; HUIJBEGTS, C. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press, 1978. Não paginada.

- LANGFORS, U.; KIHILTROM, B. **Rock Blasting**. New York: John Wiley, 1963. Não paginada.
- LIPTON, I. T. **Measurement of Bulk Density for Resource Estimation**. In: Edwards, A. C. **Mineral Resource and Ore Reserve Estimation - the Auss**. Victoria: AIMM, 2001. Não paginada.
- SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE JAZIDAS, 1969, Brasília. **Anais...** Brasília: PLANFAP, 1969. Não paginada.
- MARCUS, J. J. **Mining Environment Handbook: Effects of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining**. London: Imperial College Press, 1997.
- MARSDEN, R. W. **Iron Ore Exploration and Geology**. In: **Surface Mining**. 2ª ed., New York: AIME, 1990. Não paginada.
- MATHERON, G. **The Theory of Regionalized variables and its Applications**. Fontainebleau: Les Cahiers du CMM, 1971. Não paginada.
- MATHERON, G. **La Théorie des Variables Regionalisées et Leur Estimation**. Paris: Ed. Technip, 1962. Não paginada.
- MORRISON, R. G. K.; RUSSELL, P. L. **Selecting a Mining Method - Rock Mechanics, Other Factors**. In **Cummins and Given: SME Mining Engineering Handbook**. New York: AIME, 1973. Não paginada.
- NATARAJAN, K. A.; NAMITA, D. **Biotechnology for Iron Beneficiation and Environmental Control: Indian Institute of Science**. India: Bangalore, 2003. Não paginada.
- PEELE. **Mining Engineering Handbook**. New York: Wiley, 1957. Não paginada.
- PETERS, W. **Exploration and Mining Geology**. New York: Wiley, 1978. Não paginada.
- PFLEIDER, E. P. **Surface Mining**. New York: AIME, 1968. Não paginada.
- POMERENE, J. B. **Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos Quadrangles, Minas Gerais, Brazil**. USGS, 1964. 83p. Não paginada.
- RENDU, J. M. **An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation**. Johannesburg: SAIMM, 1979. Não paginada.
- RICARDO, H. de S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha**. São Paulo: McGraw - Hill do Brasil, 1978. Não paginada.
- ROSS, R. D. **Air Pollution and Industry**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1972. Não paginada.
- SINCLAIR, A. J.; BLACKWELL, G. H. **Applied Mineral Inventory Estimation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. Não paginada.
- YERRISWAMY, P.; GOVINDARAJAN, B.; BARNWAL, J. P. RAO, T.C. **Application of the Multi-Gravitic Separator for Beneficiation of Iron Ore Fines**. India: Regional Research Laboratory, 2003. Não paginada.

GLOSSÁRIO

1. *Auditoria de recursos/reservas (due diligence)*: reporta-se à verificação cuidadosa de todos os dados de geologia, resultados de análise, pesquisa mineral, planos de lavra, estudos técnicos/econômicos, seqüenciamento da produção etc. que culminam com a definição de recursos e reservas.

2. *Beneficiamento de minérios*: constitui-se de operações industriais visando preparar granulometricamente, purificar ou enriquecer os minérios por métodos físicos, portanto sem a alteração da constituição química dos minerais.

3. *Competent person*: é o profissional que domina a técnica de avaliação de recursos/reservas para o tipo de jazida considerado.

Nota Importante: Um profissional pode ser competente para avaliar um tipo de minério (v.g. ferro) e não outro (v.g. ouro).

4. *Concentração*: é o beneficiamento que consiste em remover a maior parte da ganga e reunir os minerais minério em um ou vários produtos distintos denominados concentrados.

Observação: as operações de concentração produzem produtos distintos:

- Concentrados: constituídos essencialmente de minerais minério (com alguma ganga indesejável).
- Rejeitos: formado por minerais de ganga contendo contudo pequena parcela de minerais úteis.

5. *Constituição do minério*: O minério constitui-se de dois tipos de minerais: minerais úteis ou minerais de minério são aqueles que portam os valores econômicos; ganga ou minerais de ganga são aqueles minerais despidos de valor ou até que atrapalham ou minoram o valor do produto vendável.

6. *Coproduto*: tem valor econômico quase igual ao do produto principal.

7. *Jazida ou jazida mineral*: é toda massa individualizada de substância mineral (ou fóssil), aflorante ou existente no interior da crosta terrestre e que tenha valor econômico.

8. *Metalurgia extrativa*: refere-se ao conjunto de processos físicos e químicos capazes de produzir os metais a partir de seus minérios. Caso o processo ocorra em via ígnea ele é referido como um *processo pirometalúrgico* (v.g. fabricação de aço). Caso o processo se passe em solução aquosa (produção do ouro por lixiviação, adsorção em carvão e eletrólise) o processo é dito *hidrometalúrgico*.

9. *Mina*: é a jazida em lavra, ainda que as operações estejam suspensas.

10. *Mineral*: é uma substância inorgânica que ocorre naturalmente na crosta terrestre possuindo propriedades físicas consistentes e distintivas e cuja composição química pode ser expressa por uma fórmula estequiométrica.

Observação: O termo eventualmente pode ser estendido para substâncias orgânicas v.g. macerais componentes do carvão. Para muitos autores, a estrutura cristalina é característica essencial do mineral, embora possam ocorrer minerais sem esta estrutura (v.g. minerais metamórficos).

11. *Minério e estéril*: as minas produzem normalmente dois tipos de materiais, minério e estéril.

12. *Minério*: é um mineral ou uma associação mineral (rocha) que, sob condições favoráveis, pode ser trabalhado comercialmente, possibilitando a extração de um ou mais metais.

Observação: este conceito pode ser estendido para rochas contendo metalóides v.g. fósforo extraído do apatitito. A maioria dos autores contudo reserva o nome minerais industriais para as rochas passíveis de serem tratadas e cederem um produto comerciável.

13. O minério é normalmente enviado à usina de tratamento para adequar suas características ao mercado consumidor. O estéril produzido pela mina é geralmente um material momentaneamente desprovido de valor econômico e deve ser cuidadosamente empilhado e estabilizado em locais apropriados.

14. *Produto ou concentrado principal*: refere-se àquele de maior valor econômico.

15. *Recursos e Reservas*

A. *Conceituação Antiga*

Em maio de 1943 o USGS/USBM² forjaram as seguintes classificações de reservas³ minerais para fins de aproveitamento:

- i. *Reserva ou minério medido*: reporta-se às tonelagens e teores computados das dimensões reveladas pelos afloramentos, trincheiras, sondagens, de tal maneira que o teor possa ser calculado através de amostragem detalhada. Os locais de inspeção, amostragens e tomadas de medidas devem estar finamente espaçados e o caráter geológico muito bem definido de tal maneira a assegurar o tamanho, forma e conteúdo mineralógico. Os cálculos devem, por seu turno, assegurar desvios de tonelagem e teores do valor estimado abaixo de 20%.
- ii. *Reserva ou minério indicado*: refere-se às tonelagens e teores computados parcialmente de medidas específicas, amostras e dados de produção, bem como de projeções parciais estendidas por distâncias razoáveis e evidências geológicas. Os locais disponíveis para inspeção, mensuração e amostragem, encontram-se largamente espaçados, de tal forma a não permitir o delineamento completo das massas mineralizadas e, por conseqüência, não permitindo o estabelecimento preciso dos teores.
- iii. *Reserva inferida*: refere-se às estimativas feitas com base em conhecimentos

² USGS é a sigla do Serviço Geológico dos Estados Unidos. USBM é a sigla do Escritório das Minas.

³ Entendia-se, na ocasião e a até há bem pouco tempo, pelo termo reservas ou reservas minerais quaisquer massas minerais individualizadas eventualmente passíveis de serem aproveitadas técnica e economicamente. Frequentemente, empregavam-se as designações reservas geológica, lavrável, e beneficiável (*milled reserves*) para diferenciar o material *in situ* (sem conotação econômica), o minério efetivamente extraído da mina e, finalmente, o minério extraído da mina e beneficiado.

grosseiros de geologia, pouca ou eventualmente nenhuma amostragem e elevadas inferências estruturais.

Observação: os norte-americanos geralmente preferiam os termos reservas provada, provável e possível ao invés de seus quase que equivalentes medida, indicada e inferida. Os soviéticos e europeus normalmente preferiam os termos medida, indicada e inferida.

Já há algumas décadas os diversos profissionais preferem os métodos geoestatísticos em detrimento dos procedimentos clássicos, pois os primeiros interpretam muito melhor a realidade.

- iv. *Reserva geológica:* era costume usar o termo reserva adjetivado pela palavra geológica para se referir ao material (minério) *in situ*. Ao termo Reserva Geológica contrapunha-se o termo *Reserva lavrável*, correspondendo a parte da reserva *in situ* aproveitável economicamente. A Reserva Lavrável (muitas vezes também chamada Reserva de Projeto) englobava correções para Recuperação e Diluição na lavra.

B. Conceituação Atual

No início dos anos 90 os mais importantes países mineiros (incluindo os Estados Unidos, Canadá, Reino Unido e Austrália) decidiram deixar muito clara a diferença entre recursos e reservas, visando com isto evitar mal-entendidos principalmente por parte de leigos investidores.

Assim, neste contexto, tem-se (de acordo com o Código Australiano):

- i. *Recurso mineral:* é a ocorrência mineral identificada, *in situ*, capaz de ceder minerais de interesse econômico. O recurso mineral é subdividido em recursos minerais medidos, indicados e inferidos, cujas definições são parecidas com as definições antigas, já mencionadas.
- ii. *Reserva mineral:* é definida como a parte dos recursos medido e indicado passível de ser lavrada, incluindo a diluição.
A reserva mineral subdivide-se em provada e provável (não existe a possível).

16. *Relação de concentração:* é o quociente entre a taxa de alimentação de uma prancha de concentração e a taxa de produção do concentrado. *Rendimento em massa:* é o inverso da relação de concentrado.

17. *Rocha:* é um agregado mineralógico.

18. *Subprodutos:* têm valores econômicos subsidiários.

19. *Teor de corte:* é aquele de massa mineralizada capaz de pagar às operações de lavra, transporte, beneficiamento, sem conteúdo quer lucro algum na operação.

Observação: o teor de corte delimita o que é minério e o que é estéril, dando destino diferentes aos mesmos. Apesar de consagrada na literatura nacional e internacional, o termo estéril não expressa corretamente a natureza do material não utilizado nas operações de lavra, pois quase sempre ele carrega algum valor do metal. Se não carregar, pode ser chamado de estéril franco.

20. *Teor de um minério ou de uma amostra:* é normalmente uma relação de massas, isto é, a massa do metal contido pela massa total considerada.

Observação: A massa do metal pode ser substituída pela massa de metalóides ou outras substâncias, v.g. minério de fosfato com 8,00 % de P_2O_5 .

21. *Traçagem, transparência ou tracking:* é o acompanhamento das tonelagens e teores de um depósito mineral, desde seu nascedouro (boletins de análises, perfis de sondagens,

densidades dos diversos tipos de minério etc.) até a apresentação do resultado final (quadro de recursos/reservas).

22. Tratamento de minérios: tem uma conceituação mais ampla, referindo-se aos processos que podem inclusive sofrer alterações de ordem química (v.g. aglomeração, ustulação e calcinação).

**Belo Horizonte
2005**



Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de Minas e Energia

