

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**  
**Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais**

**MONOGRAFIA**

**Recuperação de Finos de Barragens**  
**no Complexo Paraopeba I**

**Aluno: Ademir Ferreira de Abreu**

**Orientadora: Professora Sônia Denise Ferreira Rocha**

**Belo Horizonte,**  
**Julho 2012**

## DEDICATÓRIA

*A meus filhos, Igor, Iago e Iara por existirem.  
A José Sena e Maria, meus pais, in memoriam,  
por terem indicado o caminho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao amigo Luiz Medeiros, pelo apoio e por ter criado condições para a consolidação desta pós-graduação.

A Luiz Ezawa, pela oportunidade ao me resgatar em um momento de adversidade profissional e assim permitir a aplicação de meu potencial.

Aos membros da família GAPML (Gerência de Planejamento de Mina - Curto Prazo - do Complexo Paraopeba), unidos pela Missão, Visão e Valores VALE, responsáveis diretos pelos resultados do trabalho aqui apresentado.

A Professora Sonia Denise, pelas orientações e por me permitir conseguir concluir no prazo.

Ao Professor Paulo Viana, pelo empenho e dedicação na manutenção do Curso de Especialização, essencial para estudos e proposições da área de mineração.

A meus filhos, razão de tudo.

Igor e Iago, pelo suporte nas pesquisas e elaboração. A Iara, por reforçar meus valores ao me questionar.

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1.1 - Evolução da Produção Brasileira de Minério de Ferro.....	12
Gráfico 1.2 - Exportação Brasileira de Ferro.....	13
Gráfico 1.3 - Teor de Fe na Produção de ROM.....	14
Gráfico 1.4: Preço mensal do minério de ferro – US\$/ tonelada métrica.....	15
Gráfico 3.1.1: Barragens por classe e tipo de atividade.....	20

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2.1 - Localização do Complexo Paraopeba I.....	21
Figura 3.2.2 - Localização das Barragens Mar Azul.....	22
Figura 3.2.3 - Fluxograma de processo ITM IV Mar Azul.....	23
Figura 3.3.1.1 - Barragem da Cava II.....	24
Figura 3.3.1.2 - Barragem da Cava II.....	25
Figura 3.3.1.3 - Barragem da Cava II.....	25
Figura 3.3.1.4 - Cálculo do sólido retomável utilizando o Datamine.....	26
Figura 3.3.1.5 - Projeto de recuperação de finos da Barragem da Cava II.....	27
Figura 3.3.1.6 - Malha de Sondagem.....	27
Figura 3.3.1.7 - Cálculo do volume de estéril a ser depositado na Barragem Cava II...29	29
Figura 3.3.2.1 - PDE Oeste X Projeto Barragem Cava II.....	30
Figura 3.3.2.2 - Volume de estéril/ Barragem Cava II.....	31
Figura 3.3.2.3 - Evolução do Projeto Barragem Cava II.....	31
Figura 3.3.2.4 - PDE Oeste Mar Azul.....	32
Figura 3.4.1 - Área E1, Barragem Cava X Mar Azul.....	32
Figura 3.4.2 - Área E1 Malha de pesquisa.....	33
Figura 3.4.3 - Cava X e limite PDE Oeste.....	33
Figura 3.4.4 - Barragem Cava X.....	34
Figura 3.4.2.1 - Plano de Lavra Barragem Cava X Mar Azul.....	35
Figura 3.4.2.2 - Parâmetros Geotécnicos/Cava X Mar Azul.....	35
Figura 3.4.2.3 - Evolução da lavra na Barragem Cava X Mar Azul.....	36
Figura 3.5.1 - Barragem Cava Y Mar Azul.....	37
Figura 3.5.2 - Furos de Sondagem na Barragem Cava Y.....	38
Figura 3.5.3 - Projeto Barragem Cava Y.....	38
Figura 3.5.4 - Aspectos da Barragem Cava Y.....	39
Figura 3.6.1 - Estoque de CSF Sobre a Barragem 01 Mutuca.....	40
Figura 3.6.2 - Avaliação Visual da Barragem 01 Mutuca.....	41
Figura 3.6.3 - Sobreposição de Materiais na Barragem 01 Mutuca.....	41
Figura 3.6.4 - Definição de Pontos para Sondagem.....	42
Figura 3.6.5 - Projeção dos Furos de Sondagem.....	42
Figura 3.6.6 - Descrição dos Materiais Amostrados.....	42
Figura 3.6.7 - Qualidade do Material Amostrado.....	43

Figura 3.6.8 - Caracterização por Seção da Barragem 01 Mutuca.....	43
Figura 3.6.9 - Fluxograma ITM'S.....	45
Figura 3.7.1.1 - Localização dos Projetos.....	46
Figura 3.7.2.1 - Projeto Final Barragem Cava X.....	47
Figura 3.7.2.2 – Níveis das Cavas X e Y.....	48
Figura 3.7.2.3 - Pit Final Cavas X e Y.....	48
Figura 3.7.2.4 - Análise de Estabilidade / Seção X a Y.....	49
Figura 3.7.2.5 - Análise de Estabilidade / Nível 1188 da Cava X.....	49
Figura 3.7.2.6 - .Análise de Estabilidade / Nível Final da Cava X .....	50
Figura 3.7.2.7 - .Análise de Estabilidade / Seção Cava X e Lago.....	50
Figura 3.7.2.8 - Análise de Estabilidade / Água do Lago Cava Y.....	51
Figura 3.8.1 - Barragem V e Cava da Mutuca.....	53
Figura 3.8.2 - Fluxograma Macro/ Recuperação Finos Barragem.....	54

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.3.1.1 - Análise de Finos da Cava II.....	28
Tabela 3.4.1 - Teores Médios Barragem Cava X Mar Azul.....	34
Tabela 3.5.1 - Qualidade Média Barragem Cava Y.....	39
Tabela 3.6.1 - Qualidade dos Finos da Barragem 01 Mutuca.....	44
Tabela 3.7.1.1 - Proporção de Finos de Barragem X Produção Bruta.....	46

## **SUMÁRIO**

<b>1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA.....</b>	<b>17</b>
<b>3. RECUPERAÇÃO DE FINOS DE BARRAGENS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Revisão Sobre Disposição de Finos em Barragens.....	18
3.2 Barragens do Complexo Paraopeba I.....	20
3.3 Cava II Mar Azul.....	24
3.3.1 Estudos Iniciais.....	24
3.3.2 Execução do Projeto.....	29
3.4 Cava X Mar Azul.....	32
3.4.1 Estudos Iniciais.....	33
3.4.2 Execução do Projeto.....	35
3.5 Cava Y Mar Azul.....	37
3.6 Barragem I Mutuca.....	40
3.7 Comentários Gerais sobre a Recuperação de Finos em Mar Azul .....	45
3.4.1 Resultados das Barragens Cavas II e X.....	45
3.4.2 Aspectos de Drenagem das Cavas X e Y.....	47
3.8 Barragem V Mutuca.....	52
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>58</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>



## RESUMO

A presente monografia apresenta projetos realizados e em análise do aproveitamento de finos de barragens de rejeitos na indústria extrativa de minério de ferro como opção para atendimento a demanda de mercado, tendo como foco a unidade do Complexo Paraopeba I da Vale.

Os projetos aqui apresentados são objetos de ações inovadoras e imediatas. Além de uma alternativa econômica, com lucros sem altos investimentos, são escolhas que permitem o adiamento de exploração de novas reservas e geram benefícios ambientais.

Impulsionados pela alta demanda, preço favorável e fatores ambientais, grandes mineradoras vêm investindo no aproveitamento de minério de baixo teor de ferro. Uma fonte desse minério são as barragens de rejeito de minas, em que durante o decorrer do beneficiamento da matéria-prima, milhões de toneladas de minerais úteis foram descartados para esses contenedores.

A falta de registros históricos não foi um impedimento e sim um agente motivador para a criatividade e desenvolvimento de opções tecnológicas por parte dos envolvidos nos processos de planejamento e operação de lavra.

O grande desafio foi saber tirar proveito da dificuldade gerada em um momento de adversidade, quando decisões tomadas na crise de 2008 acabaram por gerar impedimentos operacionais na retomada de produção em 2010.

Além de se tornarem viáveis economicamente, os projetos se demonstraram benéficos ao meio-ambiente e a sociedade.

## **ABSTRACT**

The monograph shows projects carried out and an analysis of the use of fine tailings in mining iron ore as an option to meet the market demand, focusing on the unity of Paraopeba Complex I of Vale.

The projects presented here are subject to immediate and innovative actions. In addition to an economic alternative, with profits without huge investments, are choices that allow for the deferral of exploitation of new reserves and environmental benefits.

Driven by high demand, favorable price and environmental factors, major mining companies have been investing in the exploitation of ore with low iron content. One source of this ore are mine tailings dams, where during the course of processing the raw material, millions of tons of useful minerals were discarded for these contenders.

The lack of historical records was not an impediment but a motivator for creativity and development of technological choices on the part of those involved in planning and operation of mining.

The challenge was to learn to take advantage of the difficulty generated in a time of adversity, when decisions on the 2008 crisis eventually generate operational impediments in the resumption of production in 2010.

In addition to becoming economically viable projects have proven beneficial to the environment and society.

## 1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

O minério de ferro e seus subprodutos são as principais matérias primas utilizadas na siderurgia. Desde a Segunda Revolução Industrial, onde surgiram novos métodos de obtenção do minério de ferro, a demanda por esta matéria prima vem aumentando e, conseqüentemente, o mercado para este produto vem evoluindo.

Nos últimos anos temos assistido a algumas mudanças que afetaram diretamente a indústria de minério de ferro no que tange aos aspectos do mercado, tecnologias e meio-ambiente. Apesar de estar em constantes mudanças tecnológicas, condicionada pelo mercado siderúrgico mundial, até o início deste século esta atividade não tinha uma maior preocupação com a otimização do aproveitamento de suas reservas. Os teores de corte para alimentação e os índices de recuperação das usinas levaram ao descarte de estéril e rejeito sem se considerar o provável aproveitamento futuro. Com o passar do tempo e decorrer da produção, as reservas vão se esgotando e dessa forma há redução no teor de ferro nas usinas e na venda de produto, o que gera estudos e alternativas para suprimento.

Impulsionados por este fator, além da alta demanda e preço favorável do minério, grandes mineradoras vêm investindo no aproveitamento de minério de baixo teor de ferro. Uma fonte desse minério são as barragens de rejeito de minas, em que durante o decorrer do beneficiamento da matéria-prima, milhões de toneladas de minerais úteis são descartados para esses contenedores. Alguns detalhes que levaram ao maior aproveitamento do minério de ferro no Brasil são a evolução da demanda e dos preços, bem como fatores ambientais.

O Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo (Sinferbase/USGS/DNPM), com estimativa da extração de 587.000.000 t em 2012 segundo o IBRAM. Os registros históricos informam a criação da Ferteco como Companhia de Minério de Ferro e Carvão em 1923, da Samitri (Mineração Trindade S/A) em 1939, da Vale (CVRD) em 1942 e da MBR (Minerações Brasileiras Reunidas) em 1965. Até o final da década de 1960, a exploração do minério de ferro era focada em lavras de hematita, com teores superiores aos 60%. A partir de então, com o empenho do governo federal em ampliar o saldo da balança comercial para o

financiamento de grandes projetos de industrialização e de infra-estrutura, a demanda pelo aço começou uma escalada sem retorno impulsionando a produção a produção de minério de ferro.

Nos anos de 1970, iniciou-se o tratamento de itabiritos friáveis com teores de Fe abaixo de 60% introduzindo-se desenvolvimento tecnológico com investimentos em processos para tratamento de itabiritos compactos.

Na década de 90 e início deste século registra-se a queda das reservas de hematita com destaque para a privatização da Vale em 1997. Com isso o mercado se tornou cada vez mais competitivo e a mineração de ferro no Brasil se centralizou com a aquisição pela Vale da Samitri em 2000, Ferteco em 2001 e MBR em 2007, além de outras mineradoras de pequeno porte. No mundo, a estrutura do mercado fornecedor acabou sendo convergida em três grandes empresas: BHP-Billiton, Vale e Rio Tinto.

O gráfico 1.1 apresenta a evolução da produção bruta (ROM) e beneficiada no período de 1975 a 2012, demonstrando um crescimento a uma taxa anual de 3% passando de 108.162.444 t extraídas e 84.670.144 t beneficiadas em 1975 para 427.600.000 t extraídas e 372.120.057 t beneficiadas em 2010. Isto significa um aumento de 395 % na produção de ROM e se considerarmos a estimativa do IBRAM para o ano de 2015 teremos uma evolução de 713% em 40 anos.

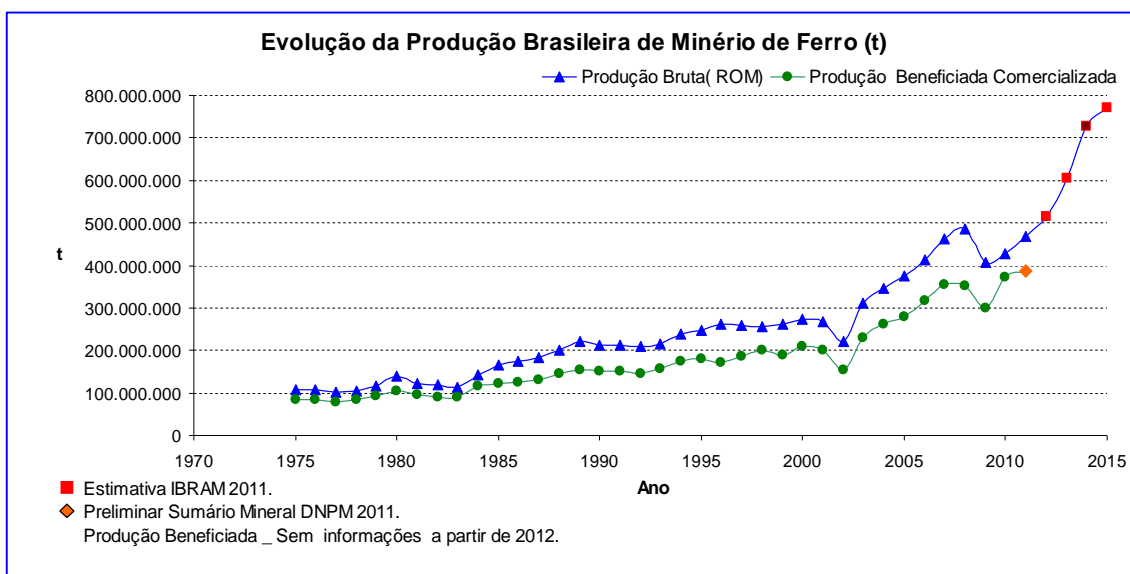


Gráfico 1.1: Evolução da Produção Brasileira de Minério de Ferro – Fontes: DNPM e IBRAM

De 1960 a 2000 ocorreram mudanças no cenário da mundial do comércio de minério de Ferro. Até o ano de 1970, os países europeus eram os grandes produtores e se transformaram em importadores. Os centros de produção passaram a ser o Brasil, a Austrália e a Índia.

De acordo com relatório emitido pela J.Mendo Consultoria para elaboração do “Plano Duodecenal 2010-2030 de Geologia Mineração e Transformação Mineral”, contratado pelo Ministério de Minas e Energia - MME, no panorama estratégico atual do minério de ferro, destaca-se a vigorosa expansão da siderurgia mundial determinada principalmente pelo extraordinário crescimento da produção de aço da China, de 127 milhões t em 2000, para cerca de 520 milhões t, em 2008.

Segundo maior exportador de minério de ferro, ficando atrás somente da Austrália, o Brasil tem aproximadamente 85% da produção de minério de ferro destinada ao mercado externo. O gráfico 1.2, sobre as exportações brasileiras de minério de ferro, demonstra que de 1960 a 2010 temos um crescimento médio anual de 7,30% com um aumento de 5.933%.

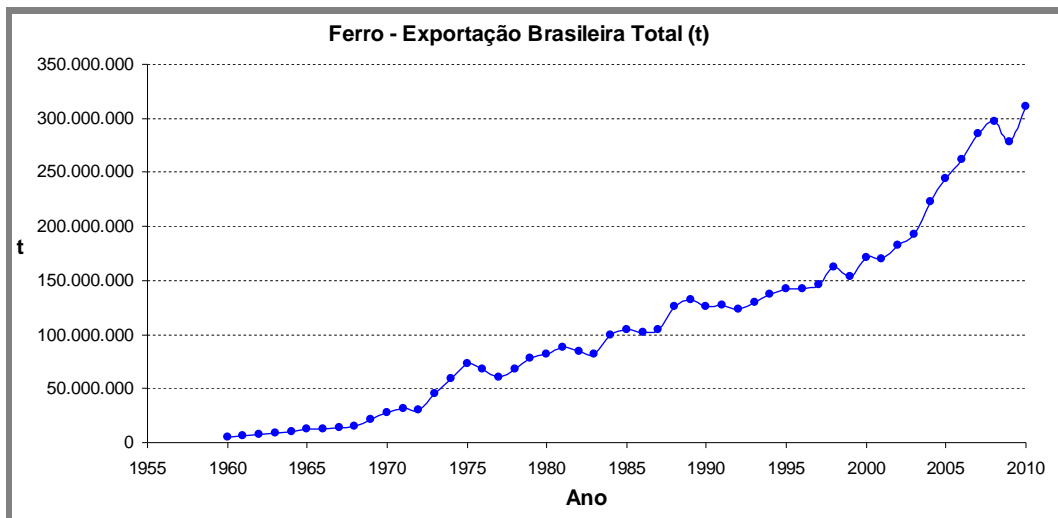


Gráfico 1.2: Exportação Brasileira de Ferro – Fonte: DNPM

O aumento da demanda tem gerado a redução dos teores de Fe na extração e no beneficiamento.

Os dados disponibilizados pelo DNPM indicam uma queda nos teores medidos das reservas de minério de ferro com 58,53% em 1984 para 56,00 % em 1985. As reservas lavráveis tem queda de 56,59 % em 2001 para 53,84% em 2005.

O gráfico 1.3 ilustra a redução nos teores de ROM usados na alimentação das usinas de beneficiamento de 2005 a 2009.

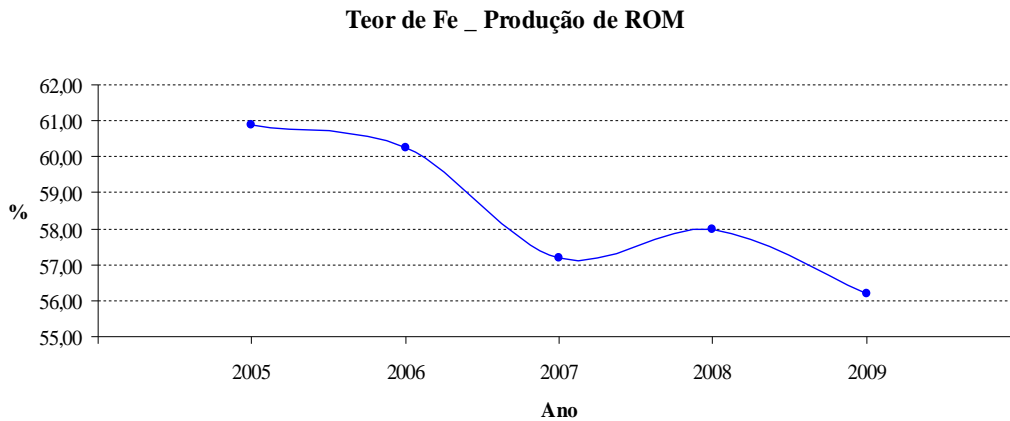


Gráfico 1.3: Teor de Fe na Produção de ROM – Fonte: DNPM

A concentração das empresas de mineração acabou por gerar maior força ao mercado fornecedor quanto à definição de preços.

Segundo Heider (2009) as repactuações anuais de preços eram realizadas em reuniões anuais nos principais países importadores (Alemanha e Japão), determinando - e até manipulando - o valor a ser praticado nos mercados da Europa Ocidental e Ásia.

Após os anos 1970, quando o Brasil se tornou o maior exportador mundial de minério de ferro para a Europa, a sueca LKAB perdeu sua posição de liderança para a Vale nas negociações do preço de referência europeu com os produtores de aço alemães.

O aumento significativo dos preços de venda iniciado no início deste século, chegando a 300%, pode ser explicado, além da alteração no mercado fornecedor, pelo crescimento explosivo de demanda da China, maior consumidor mundial de aço.

Até o final de 2008, o minério de ferro tinha o seu preço negociado anualmente entre as grandes siderúrgicas e os grandes fornecedores, detedores de 70% do mercado transoceânico - Vale, BHP e Rio Tinto. Em 2009 este sistema de precificação anual foi substituído por um sistema denominado pricing trimestral devido ao aumento da demanda global.

Os preços dos produtos são definidos em função do ferro contido. Para se chegar ao preço por tonelada vendida, multiplica-se o preço de referência por unidade de metal pelo teor de ferro contido e desconta-se a umidade do produto.

O gráfico 1.4 apresenta esta evolução do preço do minério a partir de 1982.

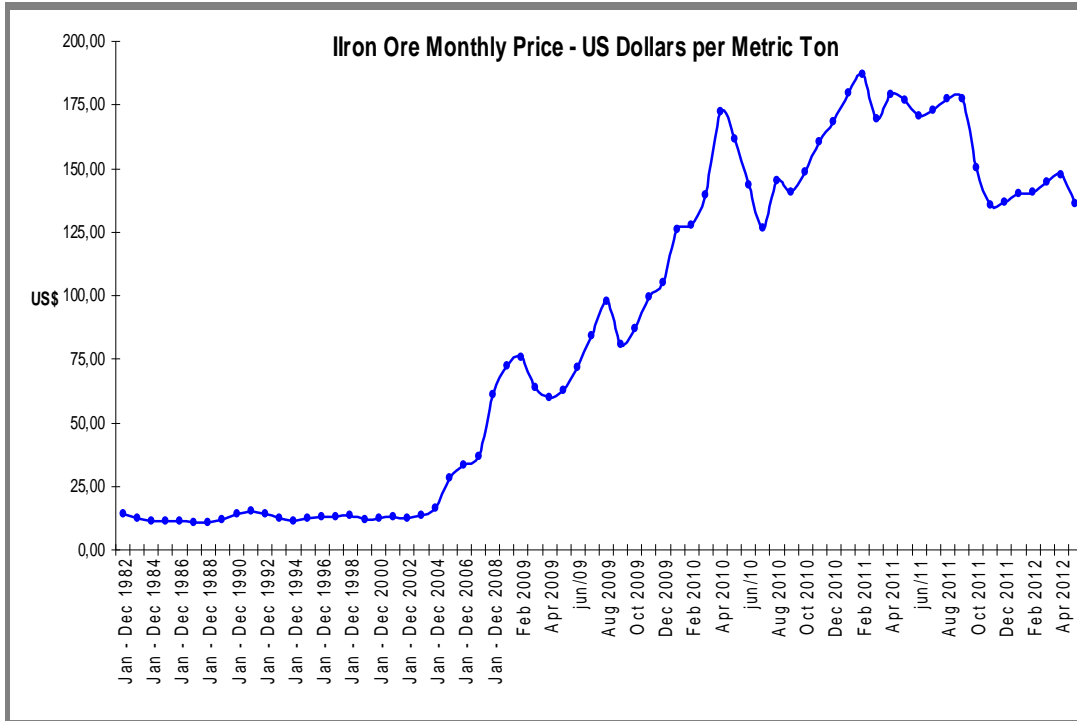


Gráfico 1.4: Preço mensal do minério de ferro – US\$/ tonelada métrica. Fonte:

Indexmundi.com

Nas atividades de mineração, as principais fontes de degradação são: a deposição de resíduos ou rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento e a deposição de materiais estéril, ou inerte, não aproveitável, proveniente do decapeamento superficial (IBRAM, 1987).

Os rejeitos têm características mineralógicas, geotécnicas e físico-químicas bastante variáveis. No entanto, a grande maioria das empresas da indústria extrativa de minério de ferro, no decorrer dos anos, não se preocupou com um controle adequado das características físico-químicas dos finos da polpa conduzida até a bacia de acumulação. Com razão, a maior preocupação estava ligada ao controle do material e na estabilidade e segurança dos sistemas de disposição de rejeitos.

A manutenção das barragens implica em custos sem retorno financeiro, sendo que muitas vezes, os pequenos mineradores não se preocupam os procedimentos de segurança ao longo da vida útil da estrutura. Este descuido, segundo o Caderno Técnico Gestão de Barragens de Rejeitos e Resíduos em Minas Gerais, publicado em 2008 pela

FEAM, no estado de Minas Gerais foi a causa de cinco grandes acidentes envolvendo barragens de rejeitos e resíduos.

Assim, a recuperação de barragens, além de preservar reservas, é uma forma importante de reduzir os riscos ambientais causados por essas estruturas.

A alta dos preços do minério de ferro no mercado internacional, o consumo ávido da indústria chinesa e a redução dos teores médios de Fe no mercado acabaram por permitir o aproveitamento de finos de barragens depositados desde o início de operação das lavras.

Desta forma, cria-se a tecnologia de lavar minério duas vezes, aproveitando material tratado anteriormente como rejeito e com teores de Fe iguais ou acima de muitas reservas atuais de itabirito. Além do ganho econômico, a técnica diminui o impacto e riscos ambientais, reduz custos com manutenção das estruturas de contenção e da sobrevida a algumas reservas.

Ainda em relação ao meio ambiente, permite abertura de novas áreas para deposição de estéril que além de demandar áreas necessita de licenças para operação. Este processo de recuperação além de simples tem baixo custo e não gera resíduo.



## **2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA**

A presente monografia objetiva apresentar o aproveitamento de finos de barragens de rejeitos na indústria extrativa de minério de ferro como opção para atendimento a demanda de mercado, tendo como foco a unidade do Complexo Paraopeba I da Vale.

Além de uma alternativa econômica, com lucros sem altos investimentos, se torna uma escolha que permite o adiamento de exploração de novas reservas e gera benefícios ambientais.

### 3. RECUPERAÇÃO DE FINOS DE BARRAGENS

#### 3.1 Revisão Sobre Disposição de Finos em Barragens.

Os rejeitos são partículas resultantes do beneficiamento do minério de ferro, buscando a extração de elementos economicamente comerciáveis, caracterizado pela presença de uma fração líquida e sólida. Estes materiais podem apresentar variações, sendo rejeitos granulares, que são materiais arenosos não plásticos ou materiais de granulometria fina e plasticidade alta.

O rejeito é disposto em barragens, podendo ser construídas pelo método de montante, linha de centro e jusante.

- Método montante - método mais simples e econômico de construção de barragens. Consiste na construção de um dique, normalmente constituído de material argiloso ou enrocamento compactado. O rejeito é lançado por canhões em direção à linha de simetria do dique, formando assim a praia de deposição.

De acordo com Troncoso (1997) o método de montante para alteamento de rejeito é o mais econômico a curto prazo, pois permite obter a menor relação entre volumes de ameia / lama.

- Método de jusante - Consiste na construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado.
- Método de linha de centro - Processo mais vantajoso em relação aos dois processos citados anteriormente.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2002), na resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002, em seu Art. 1º define estéril como qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário. Rejeito é definido como material descartado proveniente de plantas de beneficiamento de minério. Define também:

- a) o sistema de disposição de estéril como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas;

b) sistema de disposição de rejeitos como estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes. Os resíduos de mineração são dispostos à superfície do terreno, em locais pré-selecionados e onde não exista minério em subsuperfície, são os denominados bota-fora. A disposição dos resíduos ocorre tanto com rejeitos de minas subterrâneas quanto rejeitos de minas a céu aberto.

Os rejeitos da mineração produzem impactos ambientais pela deposição inadequada, pelo risco de contaminação de lençóis freáticos e pelas perdas de água de processo por falta do seu tratamento e do seu reuso. “Podemos ver que todo cuidado é pouco durante as fases de lavra e beneficiamento de minérios para que os resíduos/rejeitos não sejam lançados no sistema de drenagem.” (Ministério de Minas e Energia).

As barragens de rejeito presentes no Estado de Minas Gerais são fiscalizadas, quantificadas e cadastradas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, juntamente com o SEMAD (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável), que possui regionais reguladoras. Já as inspeções de segurança devem ser realizadas, segundo a publicação da DN 87/2005, por profissionais (auditores) externos ao quadro de funcionários da empresa que possui barragens, havendo a necessidade de se fazer também, revisões periódicas.

Esse controle e a fiscalização de uma forma rigorosa foram motivados por acidentes anteriormente ocorridos, que causaram a mobilização não apenas da sociedade civil, mas também de entidades ambientais e estudiosos, que visam a adequação dos métodos e tecnologias para a diminuição de riscos.

Segundo a FEAM, 2010, em Minas Gerais ocorreram cinco grandes acidentes envolvendo barragens de rejeito e resíduos, e de acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens, problemas diversos como instabilidade de taludes, falta de controle de erosão e fundação e deficiências no controle e inspeção pós operação são as principais causas.

As barragens cadastradas são divididas em classes, que utilizam como critério o potencial de dano que pode ser causado ao meio ambiente:

- a. Classe I: baixo potencial de dano;
- b. Classe II: médio potencial de dano;
- c. Classe III: alto potencial de dano.

Segundo o Inventário 2011, existem em Minas, 706 barragens cadastradas, onde destas, 469 são de atividades ligadas à mineração, representando um total de 67%, das quais a maior parte oferece um alto potencial de dano ao meio ambiente.

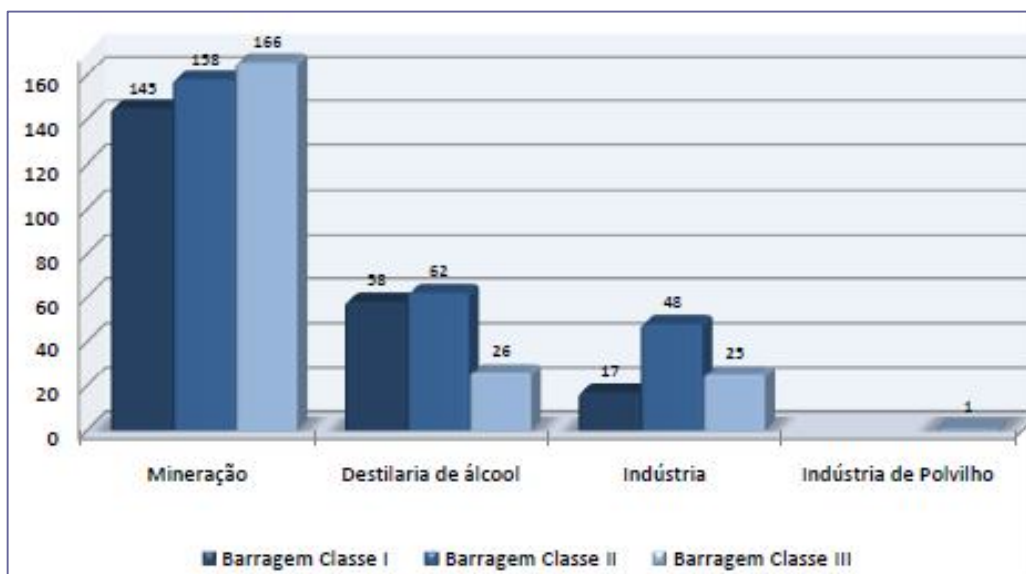


Gráfico 3.1.1: Barragens por classe e tipo de atividade. Fonte - FEAM, 2010.

Ainda segundo o Inventário de 2011, das barragens cadastradas, 612 são consideradas estáveis, enquanto 43 barragens não têm estabilidade garantida pelo auditor, 42 não tem sua estabilidade definida e 9 se encontram em situação especial, seja por pertencer a um empreendimento ainda não em operação, situação irregular ou outras.

Devido à metodologia desse acompanhamento e dos dados gerados, não há como precisar quantas dessas barragens estão relacionadas à mineração de minério de ferro, nem qual o teor de ferro disponível.

### 3.2 Barragens do Complexo Paraopeba I.

Situadas as margens da BR 040, no município de Nova Lima (MG), as Minas da Mutuca e de Mar Azul são unidades integrantes do Complexo Paraopeba da Vale S.A. Este complexo se compõe dos seguintes sites:

Site I composto pelas unidades da Mutuca, Capão Xavier, Mar Azul e Terminal de carregamento de Olhos D'Água.

Site II composto pelas unidades de Jangada, Córrego do Feijão e Terminais de Carregamento de Feijão e Alberto Flores.

Os depósitos do Complexo Paraopeba estão situados no lado oeste do Quadrilátero Ferrífero, onde se encontram distribuídos ao longo do flanco leste do Sinclinal Moeda e do segmento sudoeste da Serra do Curral. São formados por minérios de alto teor em ferro ( $Fe > 64\%$ ) - minérios hematíticos, e por minérios com menor teor em ferro ( $Fe < 64\%$ ), denominados de minérios itabiríticos. As rochas estereis, comuns a todos os depósitos, constituem-se de filito, quartzito, rochas básicas intrusivas e coberturas de sedimentos argilosos e canga.

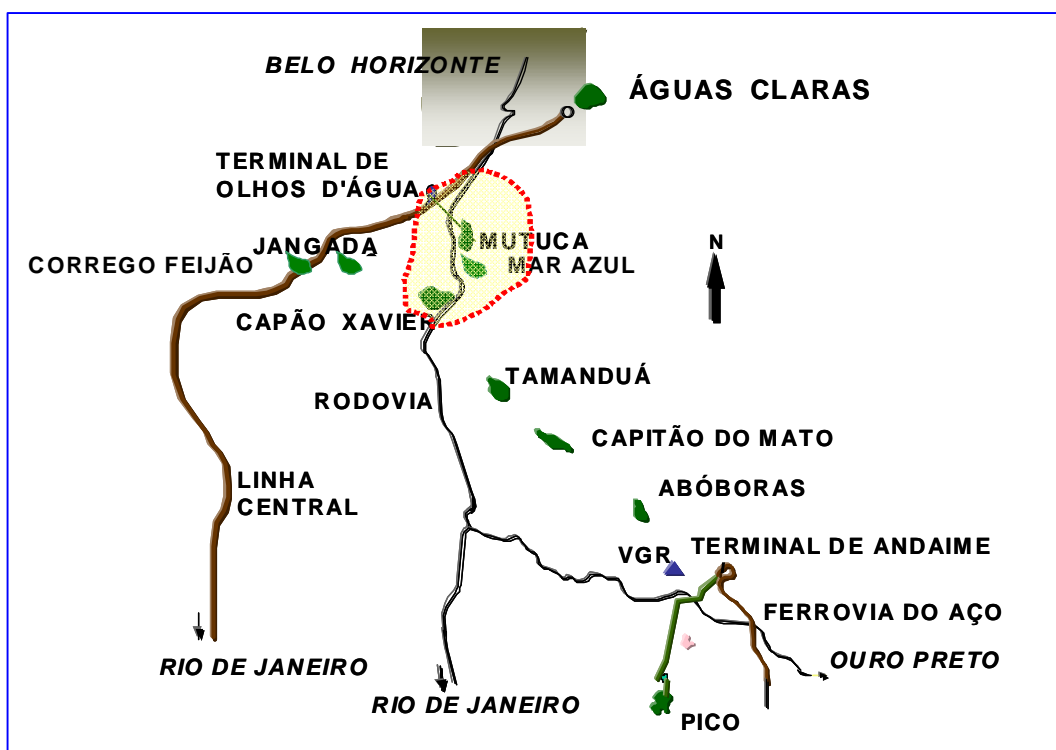


Figura 3.2.1: Localização do Complexo Paraopeba I. Fonte: Vale SA.

A Mina da Mutuca teve suas operações iniciadas em 1961. Exaurida a exploração da reserva em 2001, esta unidade passou a ser uma central de beneficiamento com o aproveitamento da logística e infra-estrutura já existentes. A usina foi alimentada com o

ROM proveniente da Mina de Tamanduá de 2002 a 2004. A partir de jun/2004 passou a beneficiar o minério da lavra de Capão Xavier.

A unidade de Mar Azul, assim denominada a partir de 2006, se refere a mina da antiga Mineração Rio Verde adquirida pela Vale em 2006.

Nestas unidades temos as seguintes barragens, objetos de estudo desta monografia:

- ✓ Barragem 01 – Mutuca – formada de 1962 a 1988 com rejeitos provenientes do beneficiamento de hematita com alto teor de Fe (valores próximos a 68%) da primeira usina a úmido operada pela MBR.
- ✓ Barragem 05 – teve sua construção concluída em dezembro de 1987 atingindo a elevação final em dezembro de 1994.
- ✓ Cava II Mar Azul – por falta do registro de dados históricos, estima-se a sua formação no período da década de 1970 até o ano de 2004.
- ✓ Cava X Mar Azul – sem registros históricos.
- ✓ Cava Y Mar Azul – sem registros históricos.

A foto 3.2.2, retirada no ano de 2.000, apresenta os limites das barragens denominadas Cava II, X e Y, localizadas em Mar Azul e objeto de estudo nos capítulos 3.3, 3.4 e 3.5.



Figura 3.2.2: Localização das Barragens Mar Azul. Fonte: Vale SA.

Estas barragens, caracterizadas pelo fato de já estarem secas e pela localização tiveram rota de processo definida para tratamento na ITM IV de Mar Azul.

O processo de tratamento é apresentado no fluxograma da figura 3.2.3.

A alimentação da usina é feita por meio de caminhões ou carregadeira a partir da praça de estocagem. O ROM, de perfil hematítico, é alimentado em dois silos "hopper" e, por meio de dois alimentadores vibratórios controla-se a taxa horária de alimentação. Há dois estágios de britagem e dois estágios de peneiramento, aplicando-se uma grelha vibratória, um britador de mandíbula (120 X 90 mm, abertura 5”), dois britadores hidrocônicos e seis peneiras horizontais. O material reduzido a 5” é direcionado para um silo que divide o sistema em duas linhas independentes similares, alimentando o peneiramento primário. O under das peneiras primárias (malha de 35 mm) é direcionado para o peneiramento secundário e o retido (malha de 60 mm) direcionado para a britagem secundária trabalhando em circuito fechado.

Nas peneiras secundárias o passante no primeiro deck (35 mm) e retido no segundo deck (20 mm) é o granulado LO (Lump-ore). O under do segundo deck (20 mm) é o CSF (coarse sinter feed). Os produtos LO e CSF são empilhados via transportador de correia.

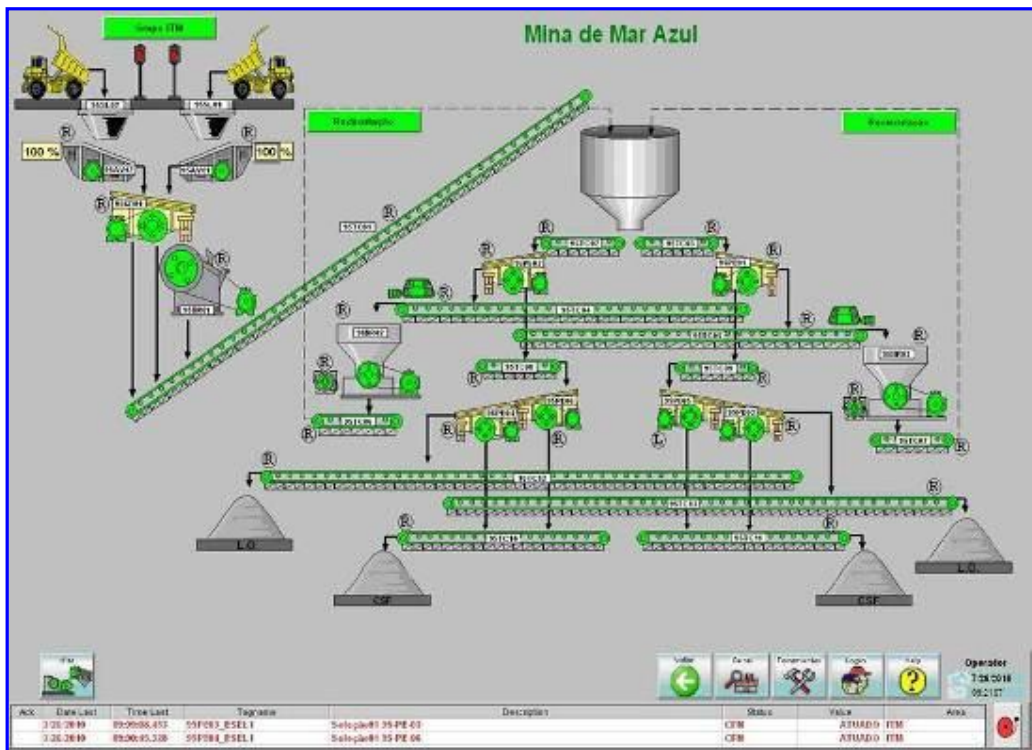


Figura 3.2.3: Fluxograma de processo ITM IV Mar Azul. Fonte: Vale SA.



### 3.3 Cava II Mar Azul

Em 2010 o Complexo Paraopeba II enfrentava dificuldades para atender a programação de produção e demandas de expedição no Terminal Olhos D'água. Limitações operacionais impediam o aumento da extração nas cava de Capão Xavier, para alimentação das usinas da Mutuca e na Cava Técnica para alimentação da usina de Mar Azul.

Na avaliação de opções para aumento da produção foi observado que existia uma área, denominada Cava II, onde a Mineração Rio Verde havia feito a deposição de rejeitos de sua usina a úmido

Já haviam sido feitas movimentações de minério da área, no entanto não havia dados históricos sobre a formação desta barragem de rejeitos.

#### 3.3.1 Estudos Iniciais

O que se conseguiu a época, foram registros de imagens que evidenciavam a deposição de rejeitos, como demonstra a foto 3.3.1 retirada no ano de 2.000.



Foto 3.3.1.1: Barragem da Cava II – Fonte: Vale, 2004.



Além da falta de informações sobre a quantidade e a qualidade do material depositado, a área localizada ao lado de um maciço de Itabirito estava sendo preparada para deposição de estéril proveniente da Mina de Capão Xavier.



Foto 3.3.1.2: Barragem da Cava II – Fonte: Vale, 2010.

Devido à necessidade e a urgência do aproveitamento do material, estudos de sondagem se indicavam onerosos e demorados. Com isso, a análise de massa total foi feita com base em fotos de 2000 e 2004, onde se estimou uma altura de aproximadamente 20m. Esta estimativa foi feita comparando, entre outras, as fotos 3.3.1 e 3.3.3, apresentada a seguir.



Foto 3.3.1.3: Barragem da Cava II – Fonte: Vale, 2000.

Com base em Levantamento Topográfico, o volume estimado de massa a ser recuperada foi de  $633.282 \text{ m}^3$ . A uma densidade média de  $2,70 \text{ t/m}^3$ , a massa preliminar total foi estimada em  $1.709.864 \text{ t}$ .

As figuras 3.3.1.4 e 3.3.1.5 ilustram as fases de cálculo de massa recuperável, considerando as seguintes premissas:

- ✓ Altura de bancada = 5m
- ✓ Ângulo da face =  $45^\circ$
- ✓ Bermas = 8m
- ✓ Profundidade = 20m
- ✓ Densidade =  $2.70 \text{ t/m}^3$ .

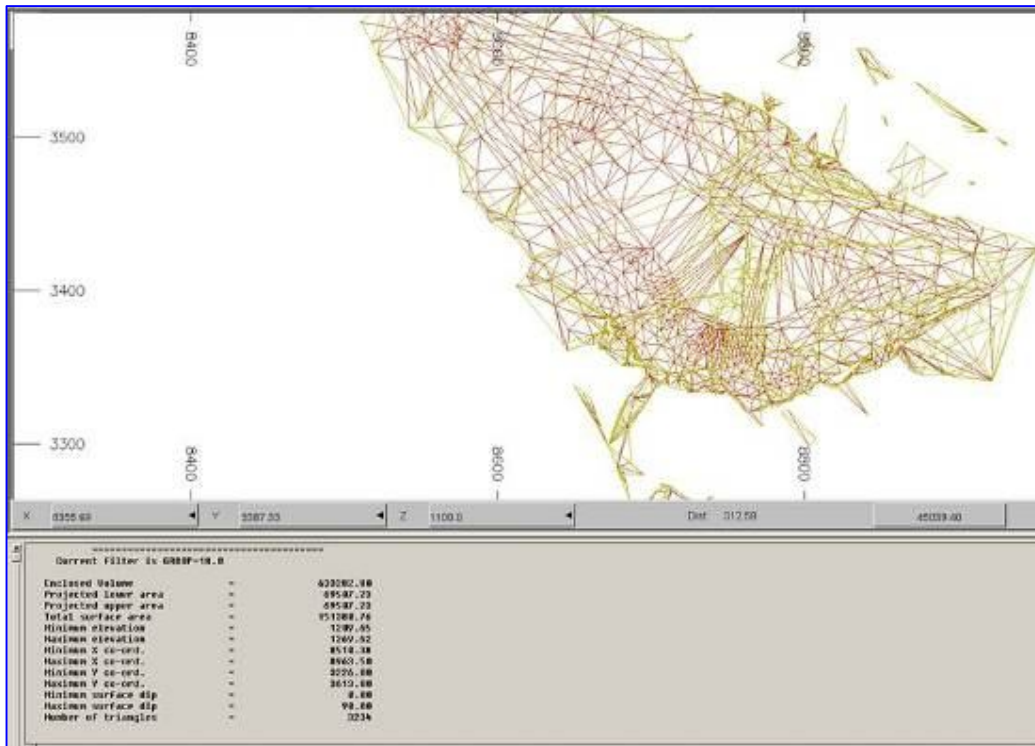


Figura 3.3.1.4: Cálculo do sólido retomável utilizando o Datamine – Fonte: Vale, 2010.

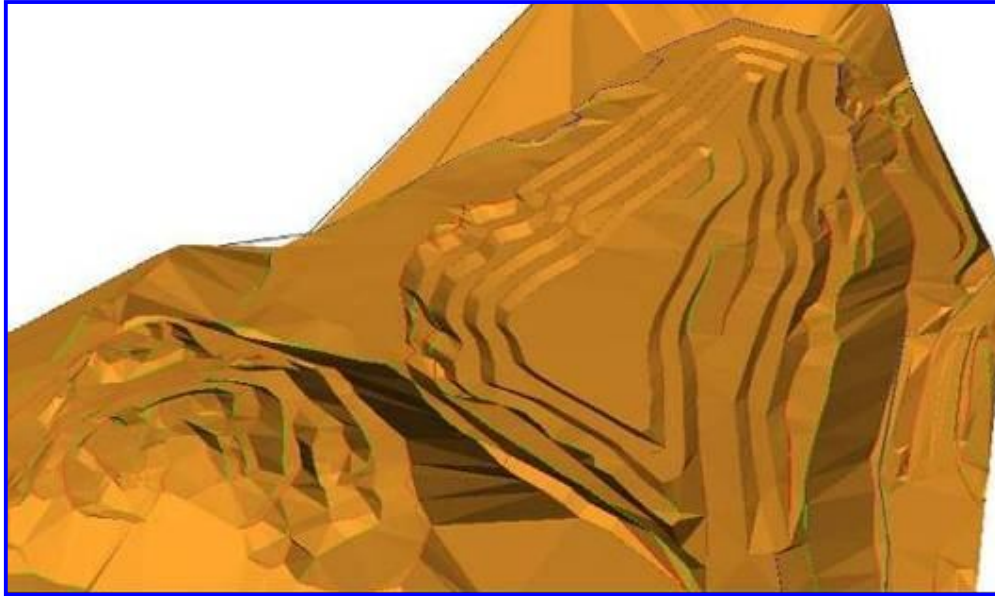


Figura 3.3.1.5: Projeto de recuperação de finos da Barragem Cava II utilizando o Datamine – Fonte: Vale, 2010.

Para estimativa da qualidade, a princípio definiu-se uma malha para sondagem apresentada na figura 3.3.1.6. No entanto, devido à urgência de aumento de produção e indisponibilidade de recursos foram feitas amostras superficiais que apresentaram os teores médios apresentados na tabela 3.3.1.1.

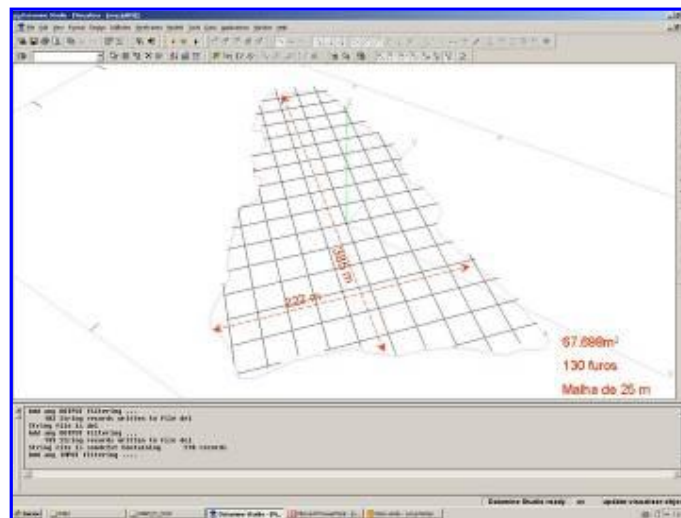


Figura 3.3.1.6: Malha de Sondagem – Fonte: Vale, 2010.

Tabela 3.3.1.1: Análise de Finos da Cava II. Fonte: Vale, 2010.

Granulometria	Split	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Mn
>0,15 mm	14,55	59,69	8,06	1,51	0,072	0,259
<0,15 mm	85,45	62,43	6,08	1,34	0,058	0,305
Total	100,00	62,03	6,37	1,36	0,060	0,298

O estudo de opções de rota de processo indicou que a qualidade do material estava muito próxima da qualidade programada para alimentação da ITM IV, usina de beneficiamento a seco de Mar Azul. Nesta usina a produção se divide em Coarse Sinter Feed, produto com granulometria abaixo de 6,30mm, e Lump-Ore com granulometria acima de 6,30 e abaixo de 31,5 mm com recuperação total de 100%.

Devido à indisponibilidade de áreas para deposição de estéril nas unidades do Complexo Paraopeba I, este projeto de recuperação de finos passou a ser concorrente com o denominado PDE Oeste Fase II, que tinha início agendado em cronograma para Março de 2011. Portanto, em um primeiro momento não havia tempo hábil e recursos para retirar todo minério da Cava II.

Apesar de concorrente ao projeto de deposição de estéril, a recuperação de finos da Cava II colaborava com o PDE, pois permitiria o acréscimo de área para depositar 406.081 m<sup>3</sup>, iguais a 773.311 t, de estéril proveniente da cava de Capão Xavier. O cálculo desta massa é apresentado na figura 3.3.1.7.

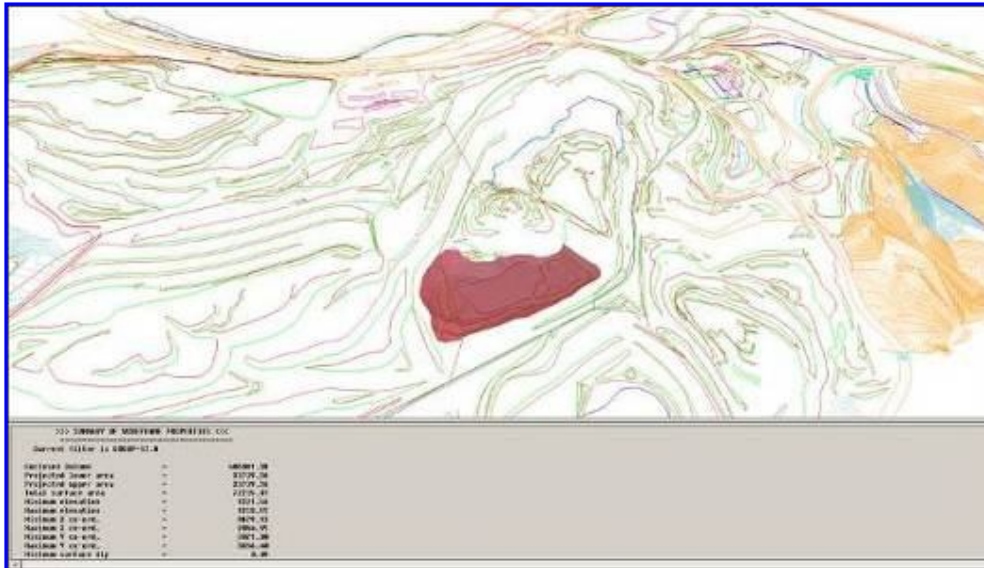


Figura 3.3.1.7: Cálculo do volume de estéril a ser depositado na Barragem Cava II.

Fonte: Vale, 2010.

### 3.3.2 Execução do Projeto

Aprovado o projeto, este passou a ser tratado em regime de urgência, pois como já comentado a barragem fazia parte de área para deposição de estéril com programação de início construção dos drenos para março de 2011.

A figura 3.3.2.1 ilustra a concorrência entre os projetos de deposição de estéril e recuperação de finos.

A lavra nesta área chegou a compor 42 % da Programação de Produção da unidade de Mar Azul.

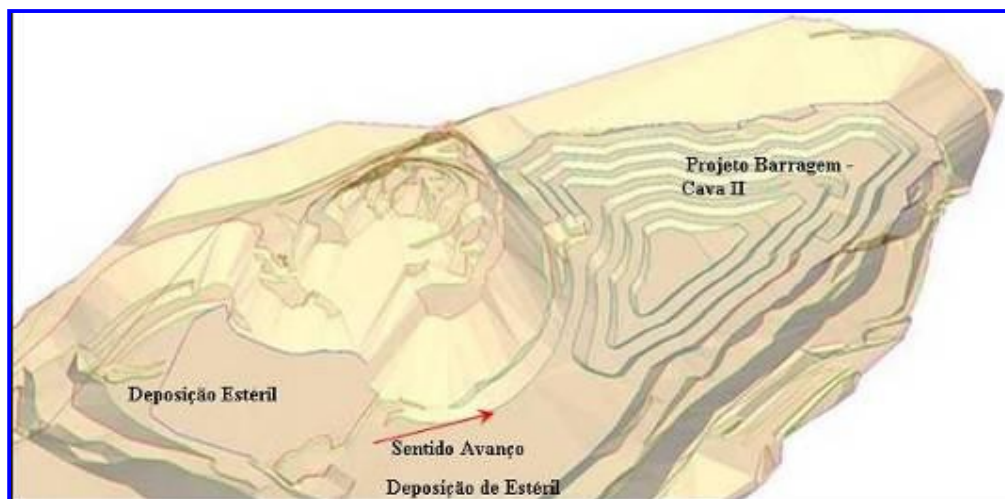


Figura 3.3.2.1: PDE Oeste X Projeto Barragem Cava II. Fonte: Vale, 2010.

Dificuldades adicionais na execução do projeto:

- ✓ Falta de informações quanto a características de todo material depositado na barragem.
- ✓ Tempo para execução não permitiu um estudo maior para a consolidação do projeto.
- ✓ Profundidade estimada de acordo com fotos.
- ✓ Parâmetros geotécnicos não permitiram maior aproveitamento na recuperação de massa, uma vez que, por questões de segurança, a altura dos bancos e inclinação dos taludes foi determinada com fatores para garantir plena estabilidade e segurança da operação.

A figura 3.3.2.1 também apresenta o pit final da Cava X, com detalhe que atingimos a cota de 1202 m para um programado inicial de 1210m. A massa total movimentada e efetivamente aproveitada foi de 1.588 947 t, ou seja, 92,9 % da estimativa inicial de projeto.

Na figura 3.3.2.2 temos a representação do sólido de estéril a ser disposto na área aberta com a retirada de finos. A lavra de finos irá permitir o acréscimo de estéril na ordem de 496545,93 m<sup>3</sup> ou 893.782,69 t a uma densidade de 1,8 t/m<sup>3</sup>. Valor este 22 % acima da estimativa inicial.



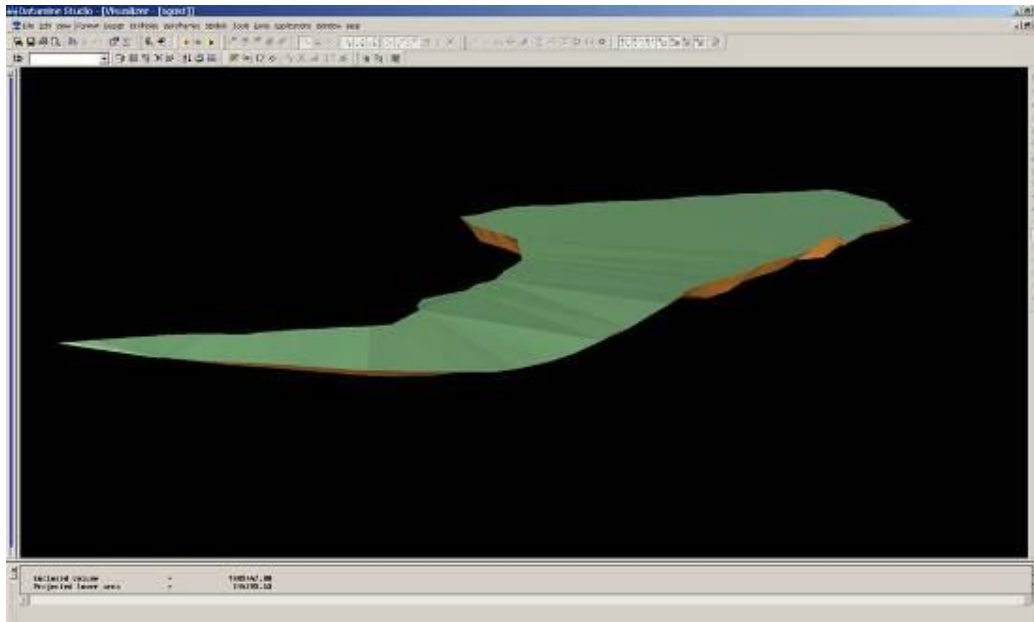


Figura 3.3.2.2: Volume de estéril / Barragem Cava II. Fonte: Vale 2012.

Na Figura 3.3.2.3 é apresentada a evolução da recuperação de finos e o avanço da PDE Oeste sobre a cava. Na Figura 3.3.3.4 temos a topografia da cava II já sendo coberta pelo estéril, após o término das movimentações de finos em 21/06/11. O aproveitamento de finos nesta área poderia ter sido muito maior, mas a necessidade da área para permitir a deposição de estéril das minas de Mar Azul e Capão Xavier.

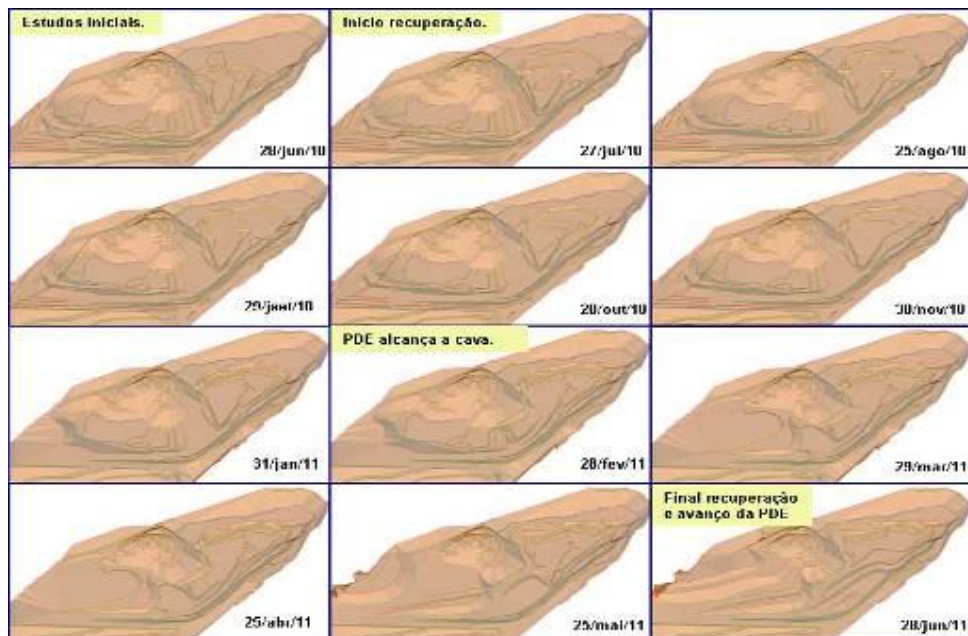


Figura 3.3.2.3: Evolução do Projeto Barragem Cava II. Fonte: Vale, 2012.

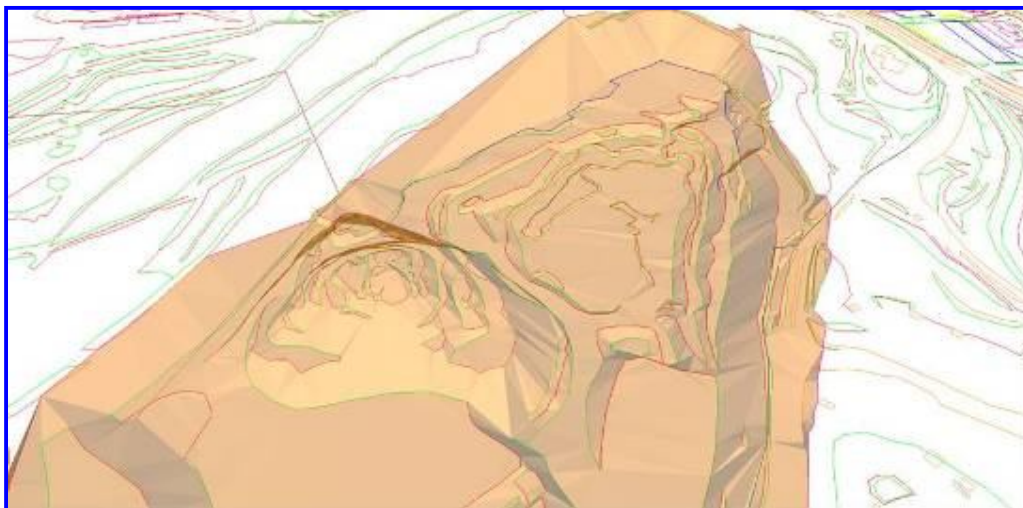


Figura 3.3.2.4: PDE Oeste Mar Azul. . Fonte: Vale, 2012.

### 3.4 Cava X Mar Azul

Ainda em 2010, necessidade de aumento de produção aliadas as restrições operacionais das cavas de Capão Xavier e Mar Azul, levou o Planejamento de Mina de Curto Prazo do Complexo Paraopeba a avaliar opções de lavra marginais. Ao mesmo tempo em que se desenvolvia o projeto Cava II, foram levantadas informações de que havia outra área onde há alguns anos a Mineração Rio Verde teria feito deposição de rejeito de finos da antiga usina a úmido que operava ao lado da Cava II.

Esta área, denominada aquela época como área E1, tinha a particularidade de estar sendo usada para estocagem de produtos, como demonstrado na foto 3.4.1.



Figura 3.4.1: Área E1, Barragem Cava X Mar Azul. Fonte: Vale, 2010



### 3.4.1 Estudos Iniciais

Ao mesmo tempo em que se fizeram estudos para retirada do estoque de produtos, foram iniciados estudos para confirmação da existência de material abaixo da cota considerada como base da área e consequentemente validarem informações quanto à existência de finos de barragem. Foram feitos estudos com uso de trados manuais, uma vez que o uso de sondas não era viável.

A figura 3.4.2 apresenta a malha inicial proposta para a pesquisa.

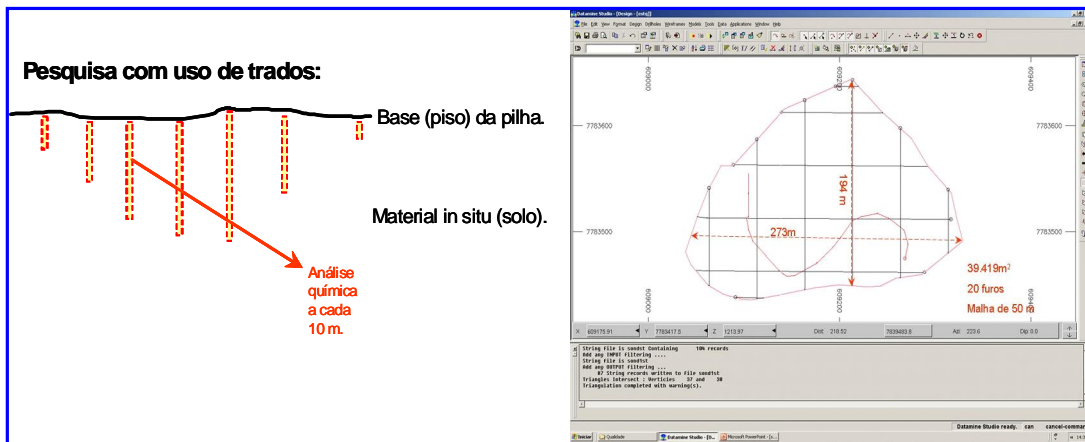


Figura 3.4.2: Área E1, Malha de pesquisa. .Fonte: Vale, 2010

A área também estava no projeto da denominada Pilha de Deposição de Estéril Oeste, conforme demonstrado pela figura 3.4.3. A linha azul representa o limite da PDE e passa praticamente ao centro da área que passou a ser denominada Cava X.



Figura 3.4.3: Cava X e limite PDE Oeste. Fonte: Vale, 2010

A qualidade resultante da sondagem com trados apresentou os seguintes resultados médios:

Tabela 3.4.1: Teores Médios Barragem Cava X Mar Azul.

Fração	Split	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Mn
.-31,55+6,3mm	11,69	63,65	2,38	1,45	0,061	0,466
.-6,3 mm +0,15mm	47,86	62,18	4,83	1,71	0,047	0,436
.-0,15 mm	40,46	60,76	6,39	1,93	0,050	0,432
Crude	100,00	61,78	5,18	1,77	0,049	0,438

A massa estimada no projeto inicial foi de 500.000 m<sup>3</sup>, ou 1.600.000 t a uma densidade medida de 2,70 t/m<sup>3</sup>.

Os parâmetros geotécnicos foram mantidos em:

- ✓ Altura de bancada = 5m
- ✓ Ângulo da face = 45°
- ✓ Bermas = 8m

Foi necessário realizar direcionamento de drenagem, de acordo com figura 3.4.4 para operação em período chuvoso.



Figura 3.4.4: Barragem Cava X. Fonte: Vale, 2010

### 3.4.2 Execução do Projeto

Durante a movimentação, foram efetuados mapeamentos geológicos e o plano de lava foi sendo alterado de acordo com atualizações topográficas.

As figuras 3.4.2.1 e 3.4.2.2 demonstram o plano Mensal de Lava com avaliação geotécnica para garantia da estabilidade e drenagem da lava.



Figura 3.4.2.1: Plano de Lava Barragem Cava X Mar Azul. Fonte: Vale, 2011

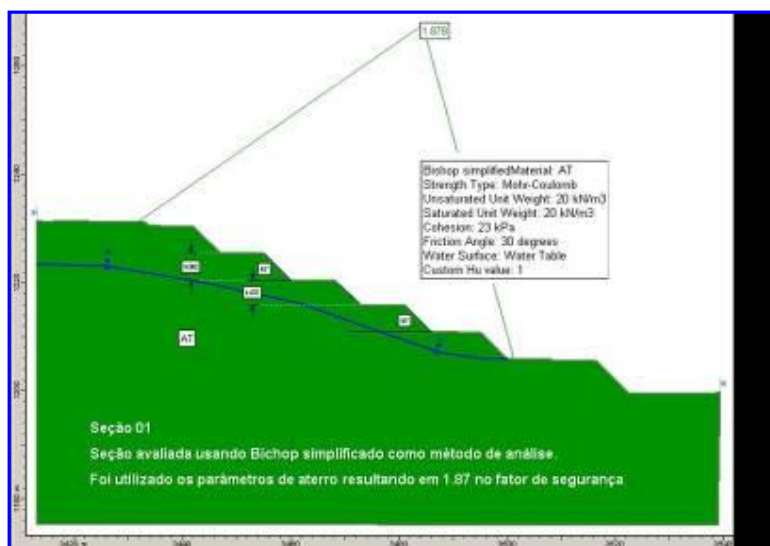


Figura 3.4.2.2: Parâmetros Geotécnicos / Cava X Mar Azul. Fonte: Vale, 2011

A rota de processo definida e aplicada foi a mesma utilizada para a Cava II, uma vez que as características granuloquímicas permitiam o beneficiamento do material na ITM IV de Mar Azul, em processo a seco composto de britagem e peneiramento com produção de Coarse Sinter-Feed e Lump-ore.

A figura 3.4.2.3 apresenta a evolução da movimentação de finos, com a topografia da área ainda com estoque de produtos (jun2010), aos finais dos anos de 2010 e 2011 e topografia atualizada em 25 de junho de 2012. No total foram movimentadas 2.873.949 t. Este aproveitamento de material permitirá o acréscimo de 2.022.401 t no projeto da pilha de deposição de estéril retirado das lavras de Capão Xavier e Mar Azul.

Em relação às estimativas iniciais, o projeto já alcançou 80% a mais de recuperação de finos.

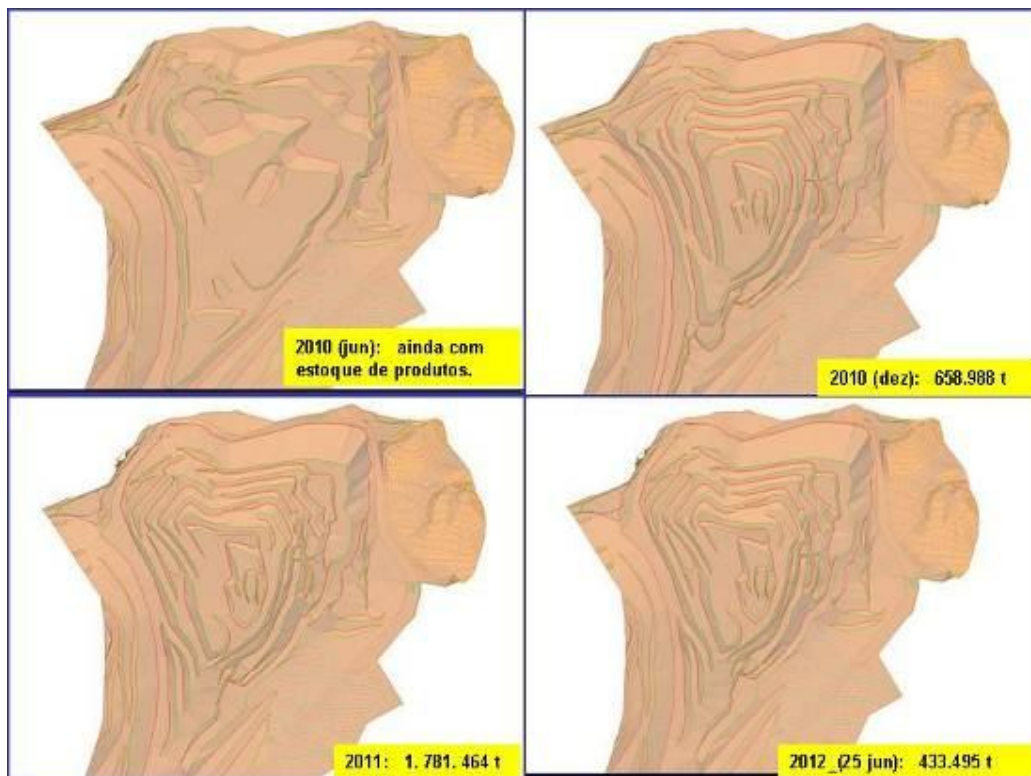


Figura 3.4.2.3: Evolução da lavra na Barragem Cava X Mar Azul.

### 3.5 Cava Y Mar Azul

Os resultados da recuperação apresentados nas cavas II e Y levaram o Planejamento de Mina a avaliar recuperação de finos de minério também na área da antiga Barragem IV da Mineração Rio Verde, denominada a partir de então como Cava Y.

A figura 3.5.1 apresenta foto retirada ao final de 2011.



Figura 3.5.1: Barragem Cava Y Mar Azul. Fonte: Vale, 2011.

Foram realizados 10 furos de sonda na área da barragem que forneceram informações de profundidade dos contatos litológicos com o fundo rochoso constituído por estéril franco. A malha de sondagem é apresentada na figura 3.5.2. Os valores indicados ao lado dos furos correspondem à profundidade do contato da barragem com o fundo rochoso constituído por estéril franco, variando de 19 a 67 m..





Figura 3.5.2: Furos de sondagem na Barragem Cava Y.

A massa recuperável foi estimada em 690.000 t com os resultados médios das amostras de furo de sondagem apresentados na tabela 3.5.1.

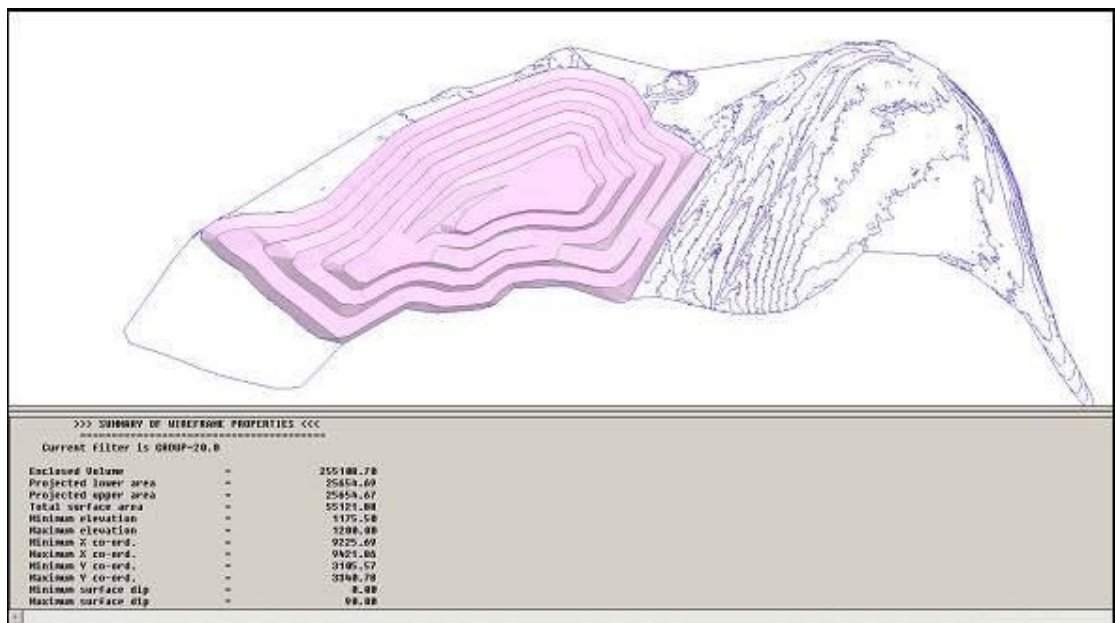


Figura 3.5.3: Projeto Barragem Cava Y. Fonte: Vale, 2011.

Tabela 3.5.1: Qualidade Média Barragem Cava Y.

Fração	Split	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Mn
<b>-.31,55+6,3mm</b>	0,24	51,76	11,03	4,88	0,108	1,469
<b>-.6,3 mm +0,15mm</b>	20,77	55,60	11,55	2,51	0,063	1,114
<b>-.0,15 mm</b>	78,99	54,76	15,17	1,85	0,048	0,779
<b>Crude</b>	100,00	54,93	14,41	1,99	0,051	0,850

Como se pode observar na Figura 3.5.1 e representado na Figura 3.5.3, a área pesquisada é composta de vegetação exótica e capoeirão, com predominância de várias espécies pioneiras. Para supressão desta vegetação é necessária a obtenção de licença ambiental.

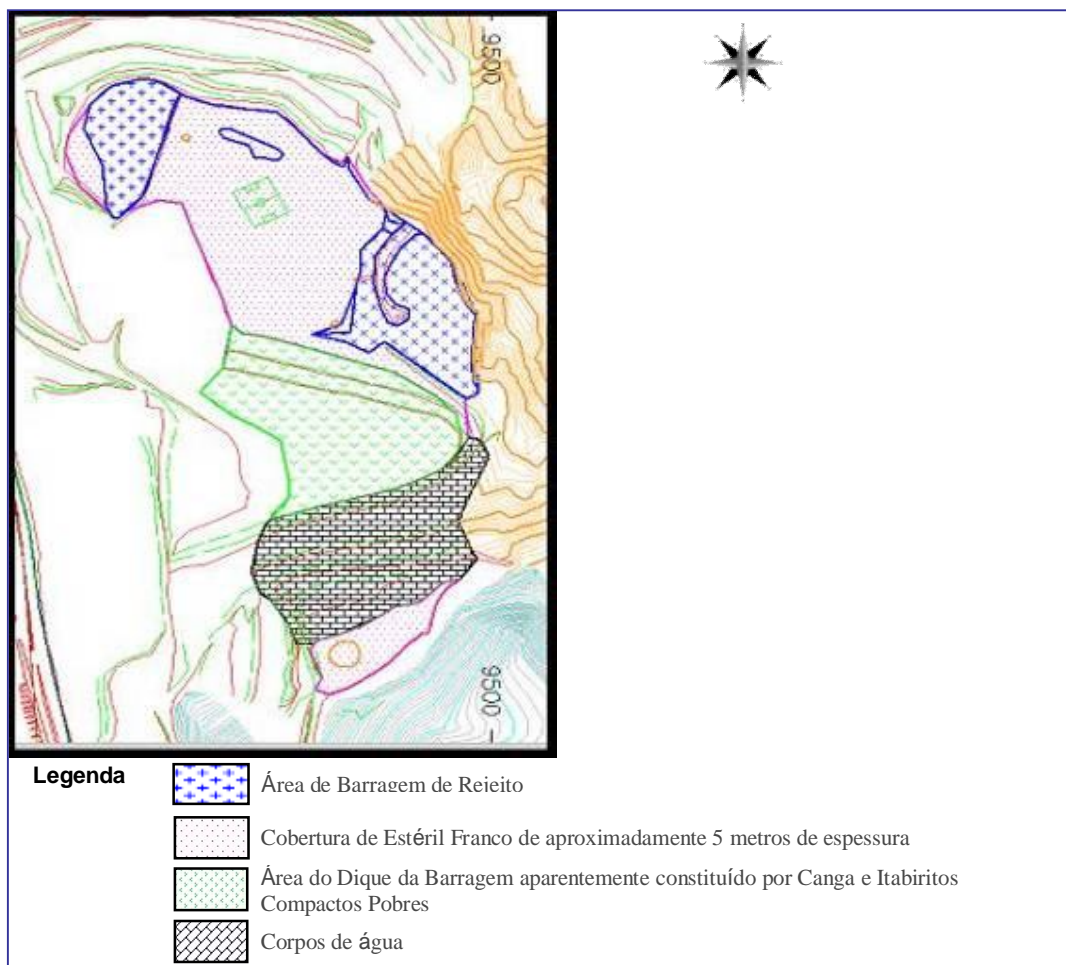


Figura 3.5.4: Aspectos da Barragem Cava Y. Fonte: Vale, 2011

Além da licença para supressão da vegetação é necessário um adendo do limite para a Pilha de Deposição de estéril PDE Oeste, aumentando a área de disposição de estéril e proporcionando a recuperação de finos a serem beneficiados na ITM IV, a exemplo do realizado com a Cavas II e Y. Neste caso, deverá ser realizado um blending com ROM proveniente da cava de Mar Azul de forma a reduzir teores de  $\text{SiO}_2$  e aumentar o teor de Fe para valores praticados no carregamento de trens do Complexo Paraopeba I.

### 3.6 Barragem I Mutuca

Paralelo aos estudos realizados para a Cava Y em Mar Azul foram desenvolvidos estudos para recuperação de finos da Barragem 01 localizada na unidade da Mutuca. No entanto, a exemplo do ocorrido com a Barragem da Cava X em Mar Azul, esta área tinha sobre os finos depositados o estoque de 1.7000.000 t de CSF (produto) em julho de 2011. Isto além de dificultar a sondagem para definição de massa e qualidade dos finos a serem recuperados impedia a consolidação do projeto.

A Figura 3.6.1 apresenta o estoque de produto depositado sobre a área.



Figura 3.6.1: Estoque de CSF sobre a Barragem 01 Mutuca. Fonte: Vale, 2011.

Como não se tem informações históricas com dados da formação da barragem, a princípio foram feitas avaliações visuais para comprovar a existência de finos de barragem. Em áreas, onde houve a ocorrência de erosões, abaixo da base da pilha de produto, foi detectada a presença de material com características físicas aparentes de Pelet-feed-fine. Esta pesquisa visual está representada na figura 3.6.2.



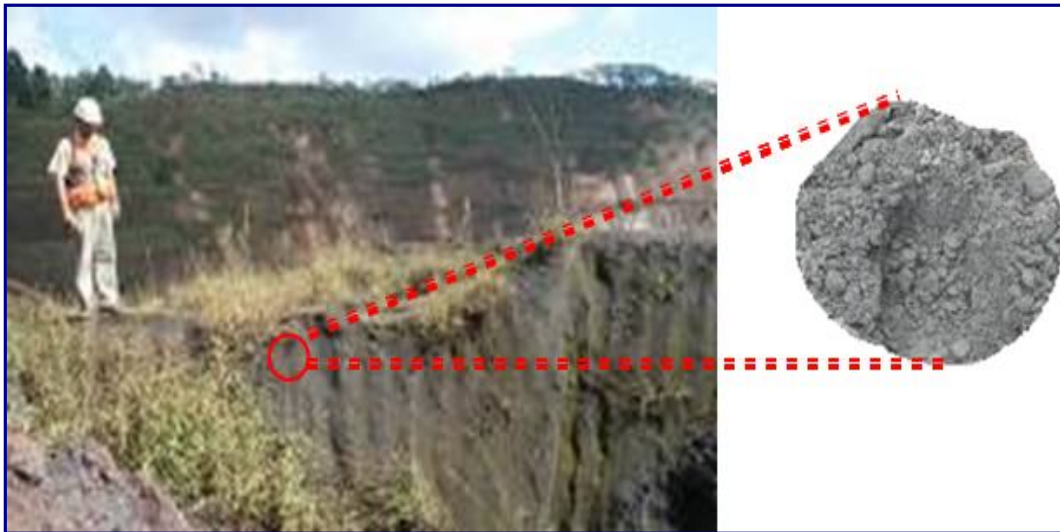


Figura 3.6.2: Avaliação visual da Barragem 01 Mutuca. Fonte: Vale, 2011.

Além do estoque de CSF, a barragem é sobreposta pela deposição de estéril proveniente da lavra da Mina de Capão Xavier (figura 3.6.3).

Esta deposição de estéril foi encerrada em jul/11.

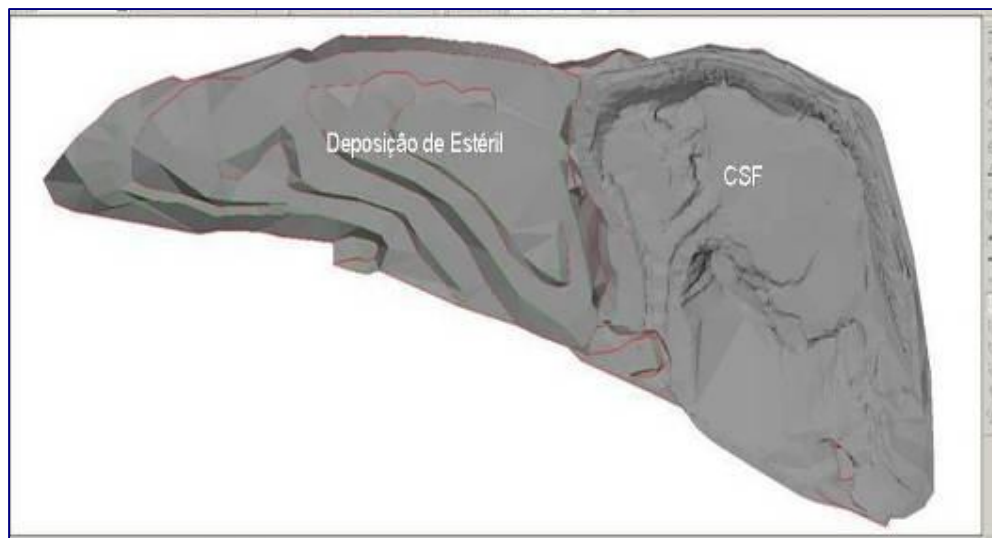


Figura 3.6.3: Sobreposição de materiais na Barragem 01 Mutuca. Fonte: Vale, 2011.

Encerrada a deposição de estéril, foram efetuados alguns furos de sondagem para estimar qualidade e massa dos finos com probabilidade de aproveitamentos. Estes estudos são apresentados nas Figuras 3.6.4, 3.6.5, 3.6.5, 3.6.7 e 3.6.8.

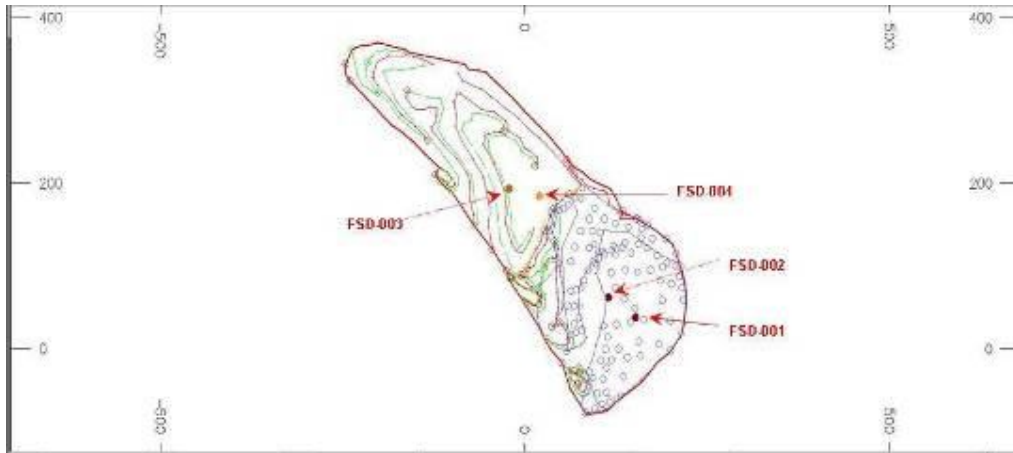


Figura 3.6.4: Definição de pontos para sondagem. Fonte: Vale, 2011.

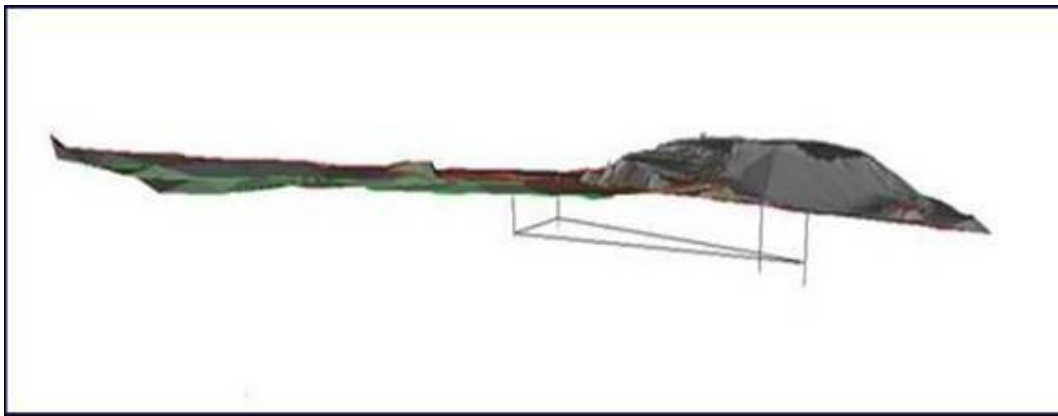


Figura 3.6.5: Projeção dos furos de sondagem. Fonte: Vale, 2011.

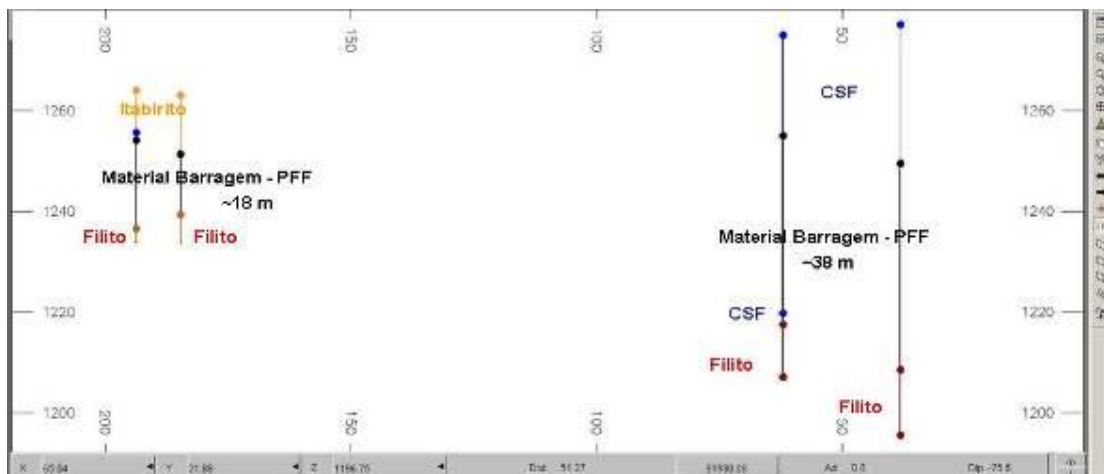


Figura 3.6.6: Descrição dos materiais amostrados. Fonte: Vale, 2011.

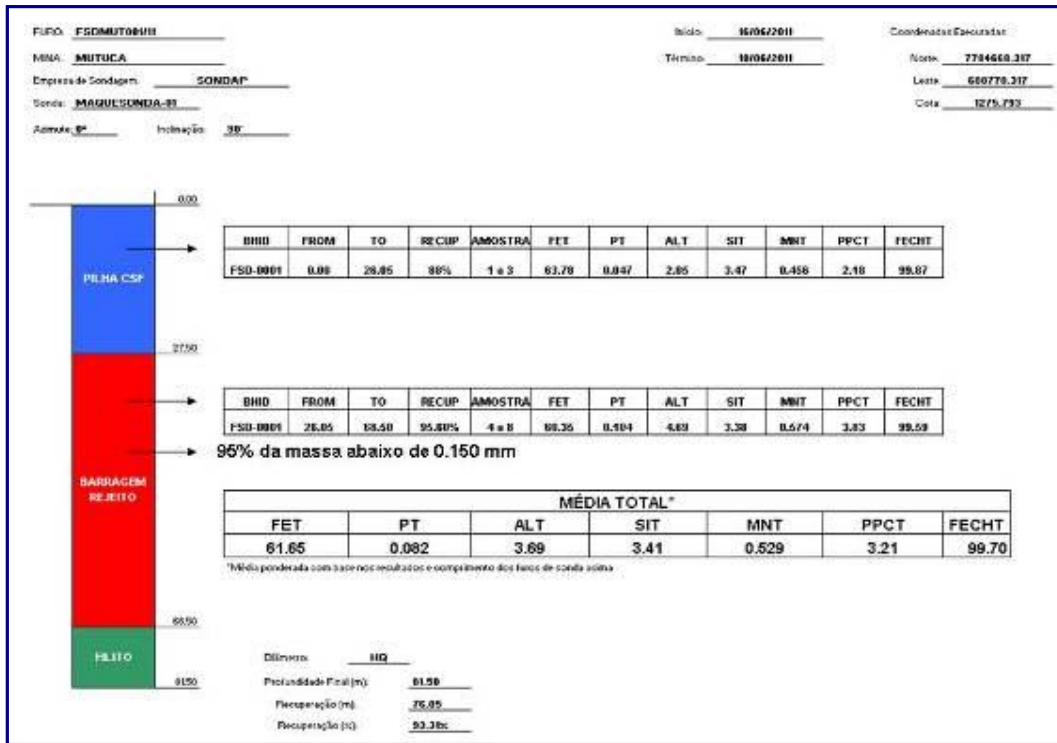


Figura 3.6.7: Qualidade do material amostrado. Fonte: Vale, 2011.

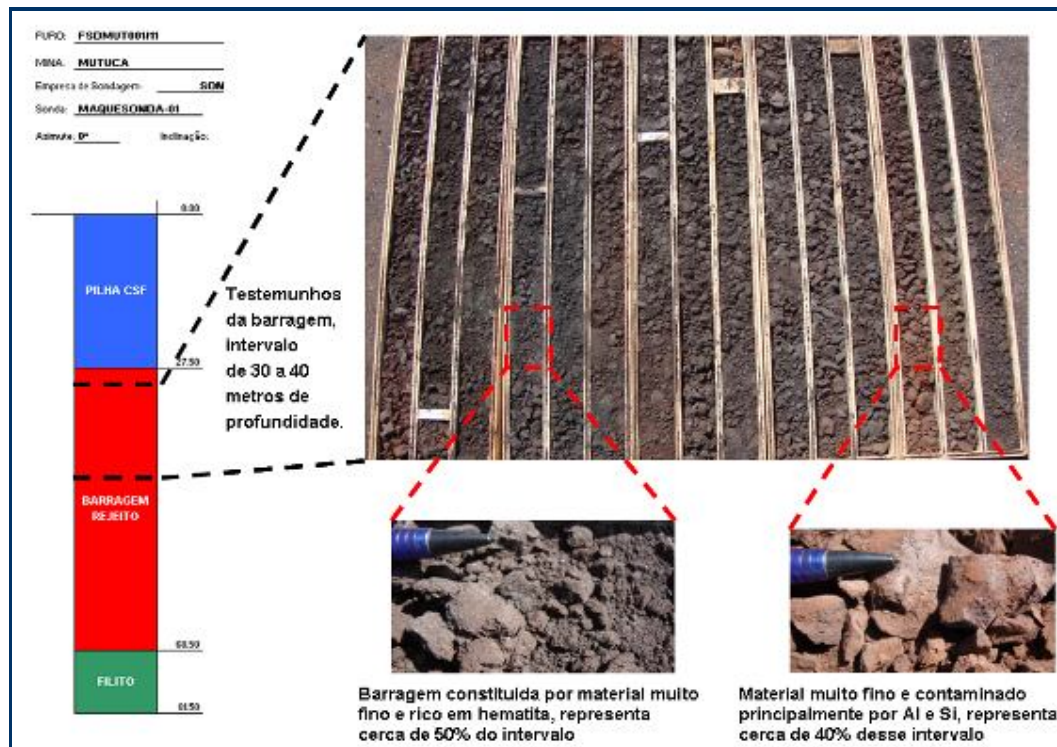


Figura 3.6.8: Caracterização por seção da Barragem 01 Mutuca. Fonte: Vale, 2011.

A qualidade média na área delimitada com características de finos de barragem é apresentada na tabela 3.6.1.

Os estudos indicam uma massa estimada a partir de 800.000 t.. No entanto a validação desta estimativa e viabilidade do projeto depende da retirada do CSF estocado sobre a área.

Tabela 3.6.1: Qualidade dos finos da Barragem 01 Mutuca.

Fração	Split	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Mn	PPC
.-31,55+6,3mm	2,63	66,81	0,58	1,69	0,044	0,094	1,68
.-6,3 mm +0,15mm	5,40	61,62	5,62	3,14	0,049	0,238	2,49
.-0,15 mm	92,63	61,69	3,53	3,37	0,089	0,574	3,00
Crude	100,66	61,82	3,56	3,32	0,085	0,544	2,94

A rota de processo indicada a retomada do material com carregadeiras e transporte com caminhões, a exemplo dos projetos de Mar Azul, com direcionamento para tratamento na ITM S (a Seco) da Mutuca.

Esta usina de tratamento de minério é alimentada via moega que direciona o material para uma grelha vibratória. A massa retida na grelha alimenta, por gravidade, o britador primário. O passante da grelha é descarregado em um transportador de correia TC-01, o qual também receberá o minério britado. Após se juntarem, o material britado e o passante na grelha são descarregados no transportador de correia TC-02, que alimenta o peneiramento. O peneiramento é constituído por uma peneira tipo banana que possui dois decks. O minério retido no 1º deck alimenta o britador secundário através de transportadores de correia. O minério rebitado segue para a pilha pulmão da ITM Mutuca através de transportadores de correia, onde é empilhado junto ao ROM proveniente da Cava de Capão Xavier para beneficiamento a úmido

O minério retido no 2º deck segue através dos transportadores de correia onde se junta ao minério rebitado e segue para a pilha pulmão.

O undersize do segundo deck da peneira é produto direcionado para uma empilhadeira radial para formar a pilha de CSF.

Este fluxograma é apresentado na Figura 3.6.9.

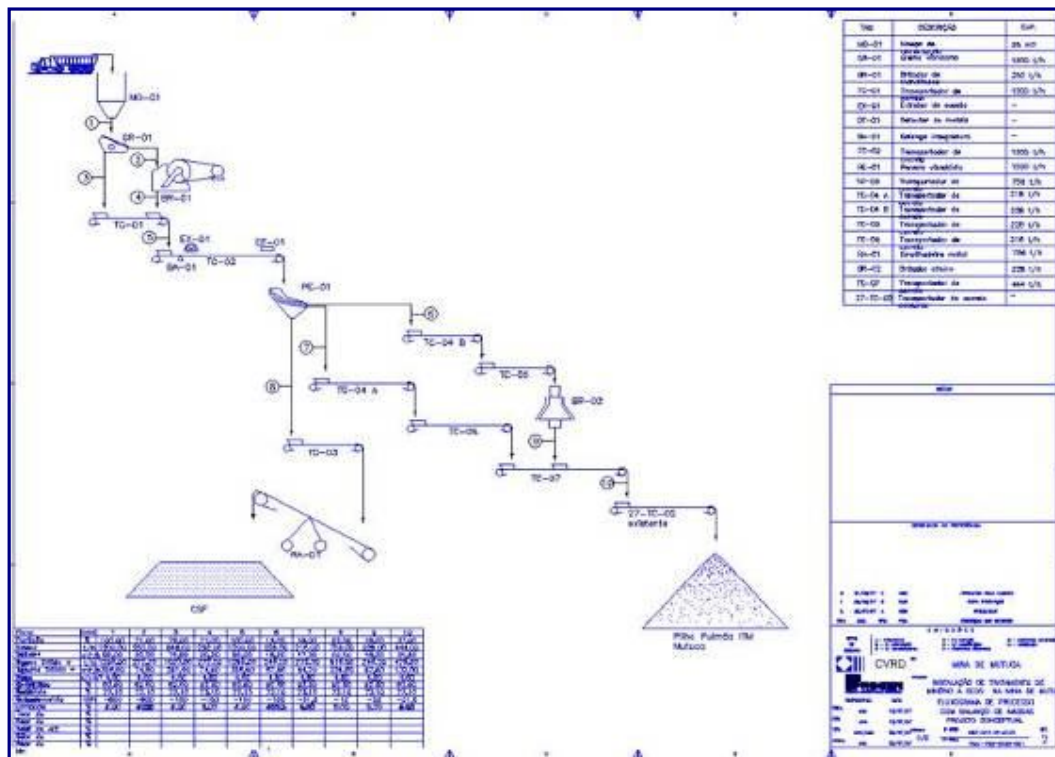


Figura 3.6.9: Fluxograma ITM S. Fonte: Vale, 2011.

### 3.7 Comentários Gerais sobre a Recuperação de Finos em Mar Azul

Neste capítulo faz-se uma consolidação dos projetos de Mar Azul e da Barragem I Mutuca, com aspectos físicos e rota de processo similares.

Primeiro são apresentados os resultados obtidos até o momento e a seguir são feitas considerações entre os Projetos Cava X e Cava Y que tem uma interface relacionada a drenagem.

#### 3.7.1 Resultados das Barragens Cavas II e X.

As rotas de processo utilizadas para o beneficiamentos dos finos de barragem citados consideraram o blending com o ROM de Mar Azul e Capão Xavier no atendimento a qualidade programada para o Carregamento de Trens.

A Tabela 3.7.1, apresenta a proporção do uso dos finos de barragem em relação à Produção Bruta (PB) de Mar Azul e do Complexo Paraopeba I



Tabela 3.7.1.1: Proporção Finos de Barragem e Produção Bruta

	2010	2011	2012 (acum. Maio)	Total (Acum. Mai/12)
<b>PB Mar Azul</b>	44,92%	54,89%	28,68%	47,34%
<b>PB Paraop. I</b>	13,07%	20,11%	10,01%	15,52%

Nos casos não foram necessários investimentos ou alterações nas usinas de tratamento do minério, uma vez que a qualidade do material das Barragens de Mar Azul permitiu o beneficiamento na ITM IV de Mar Azul, processo a seco, com 100% de recuperação. Foi considerada também a localização das barragens em relação às usinas, apresentada na Figura 3.7.1.



Figura 3.7.1.1: Localização dos projetos. Fonte: Vale, 2012.

A recuperação de finos alcançou 4.621.000 t de 2010 a maio de 2012, 15,52 % da produção do Complexo Paraopeba I.

Considerado o preço de U\$136,27 por tonelada métrica no mercado spot da China para teor médio de Fe em 62,00% (CFR Tianjin port), de acordo com consulta no [indexmundi.com/commodities](http://indexmundi.com/commodities) em mai/12, isso representa uma receita de U\$ 629.703.670,00 ou R\$1.272.001.413,40 sem investimentos adicionais.

### 3.7.2 Aspectos de Drenagem das Cavas X e Y.

Para um maior aproveitamento de material, considerando que as operações na área da barragem Cava X não sofrem interferências imediatas da deposição de estéril, foi realizado estudo geotécnico e proposto projeto final com os seguintes parâmetros:

- ✓ Altura Bancada: 10m.
- ✓ Largura de Berma: 7m.
- ✓ Ângulo de Face: 45°.

A Figura 3.7.2.1 apresenta o projeto com a cava final.

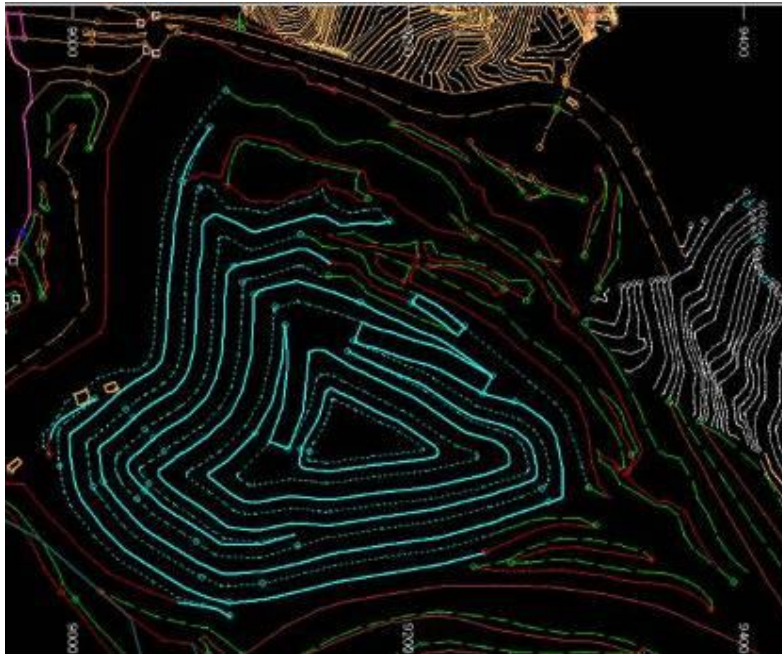


Figura 3.7.2.1: Projeto Final Barragem Cava X. Fonte: Vale, 2012.

A Barragem Cava X está acima da Barragem Cava Y (vide Figura 3.7.1.1) com direcionamento de drenagem da X para Y.

Como a influência de água nas operações é uma variável a ser considerada diariamente no decorrer do seqüenciamento, foi feito um estudo de comparação do desnível do nível inferior da geometria final da Cava X em relação a topografia atual da Cava Y,.

As Figuras 3.7.2.2 demonstra este desnível, que sem a execução do projeto Cava Y, deverá ser de 15,10 m

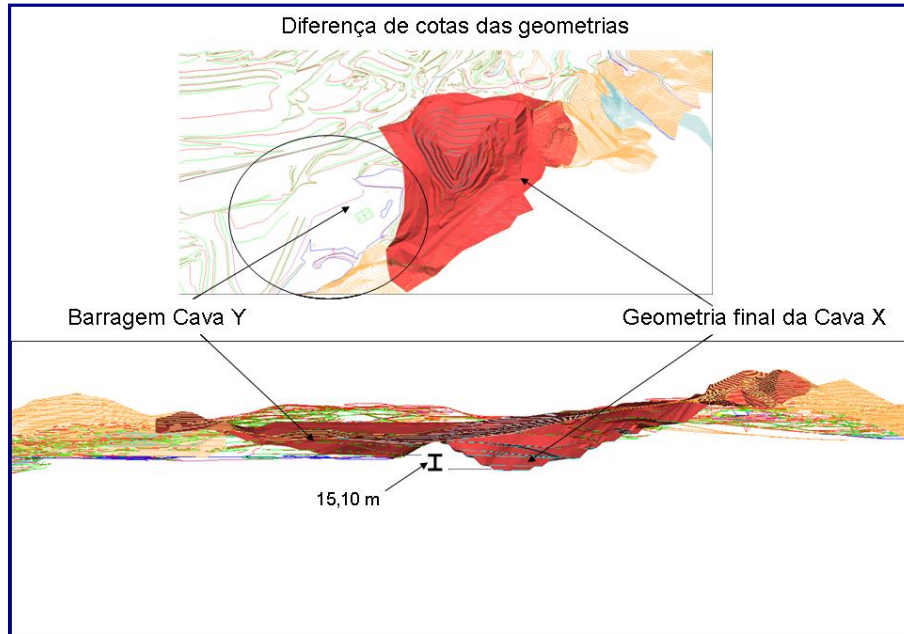


Figura 3.7.2.2: Níveis Cavas X e Y. Fonte: Vale, 2012.

Com a evolução do processo de liberação do licenciamento de lavra na proposta geométrica para a Barragem Cava Y o desnível final entre as duas cavas será de 8,11 m, com a cota mais baixa na Barragem Cava Y ( Figura 3.7.2.3).

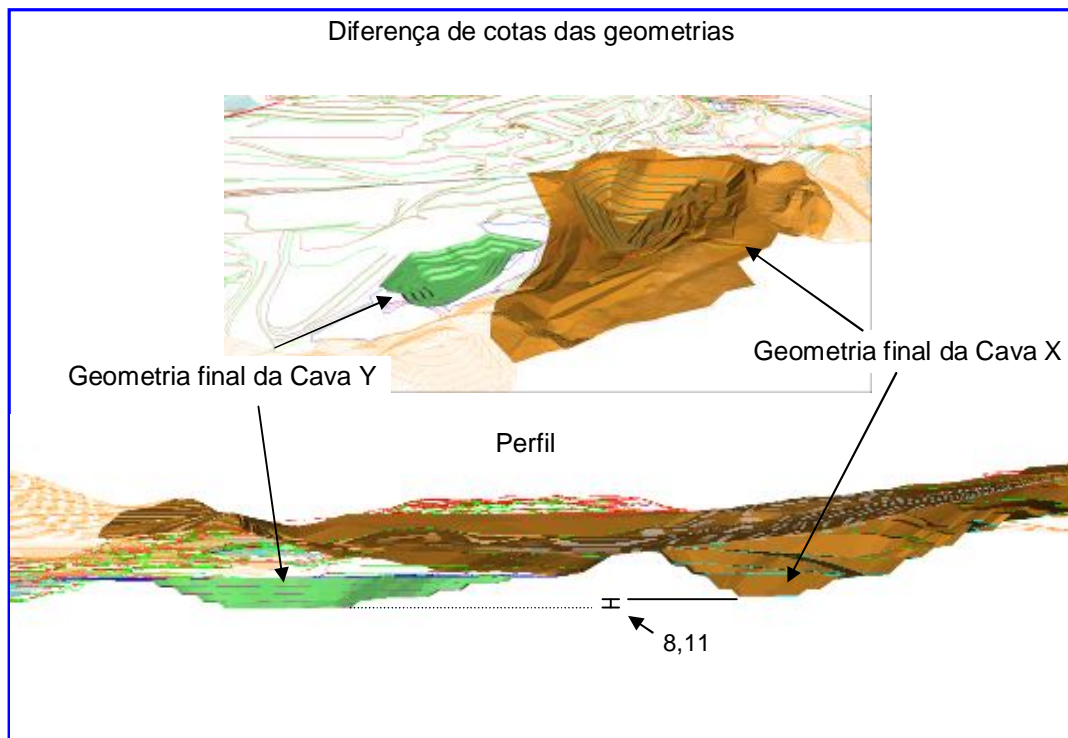


Figura 3.7.2.3: Pit final Cavas X e Y. Fonte: Vale, 2012.



Foram feitas análises da Cava X com o lago gerado pela água da chuva variando o nível do mesmo entre as cotas 1188e 1215 m.

Foi utilizado o programa computacional Slide 5 da RocScience, adotando o método de elementos finitos para analisar a percolação de água a partir da permeabilidade dos materiais envolvidos. Para a análise de estabilidade utilizou-se o método do equilíbrio limite.

As Figuras 3.7.2.4, 3.7.2.5 e 3.7.2.6 apresentam os resultados destas análises.

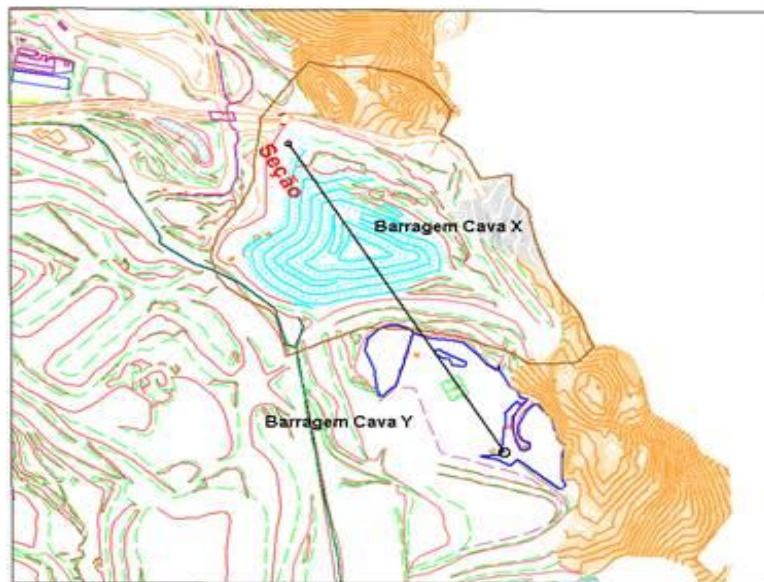


Figura 3.7.2.4: Análise de Estabilidade/ Seção X a Y. Fonte: Vale, 2012

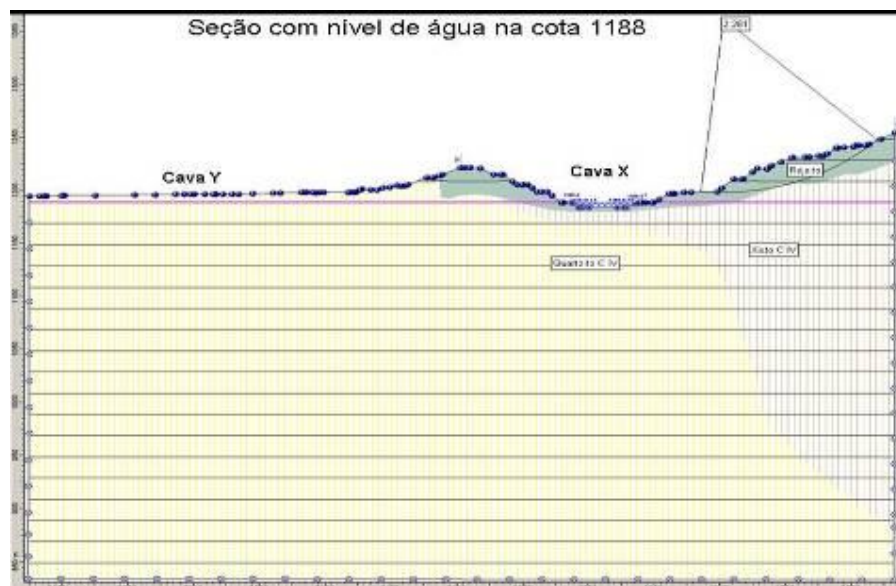


Figura 3.7.2.5: Análise de Estabilidade/ nível 1188 da Cava X. Fonte: Vale, 2012



Figura 3.7.2.6: Análise de Estabilidade/ nível final da Cava X. Fonte: Vale, 2012

Foi realizada também uma simulação da influência da água do lago do Recanto Ecológico no fator de segurança do talude da Cava X (Figuras 3.7.2.7 e 3.7.2.8).

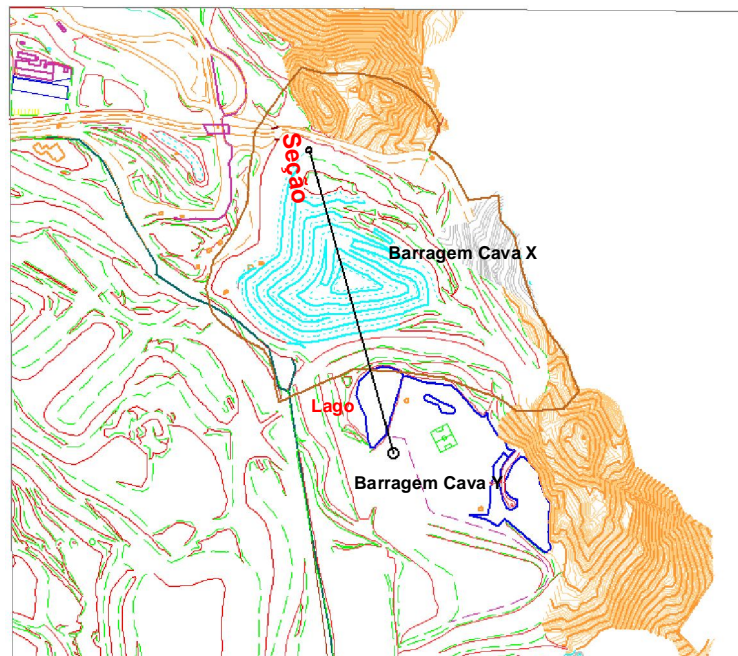


Figura 3.7.2.7: Análise de Estabilidade/ Seção Cava X e Lago . Fonte: Vale, 2012.

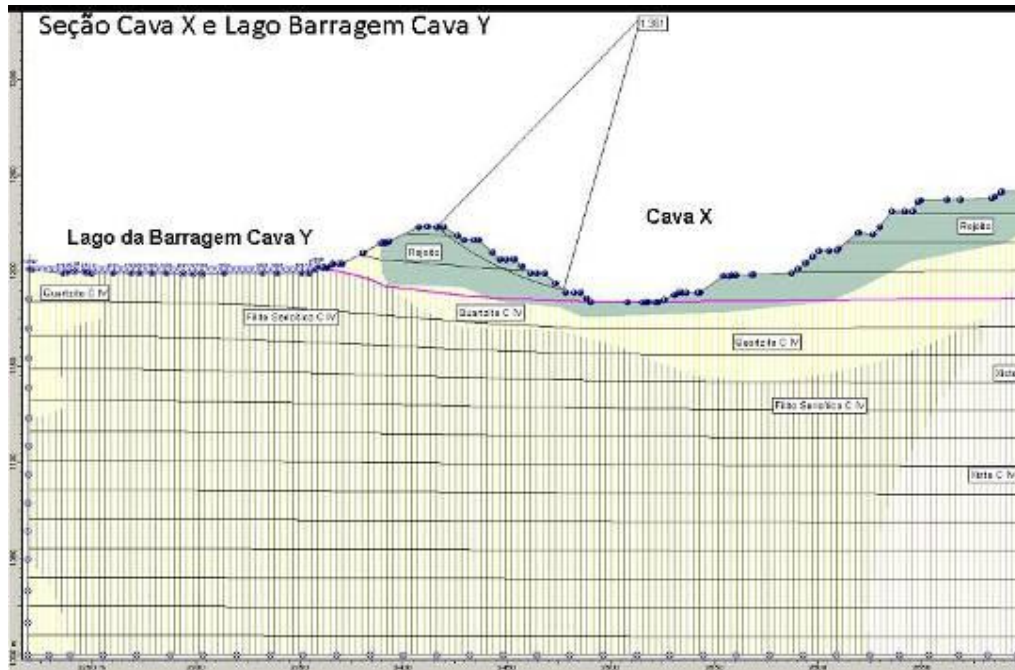


Figura 3.7.2.8: Análise de Estabilidade/Água do Lago Cava Y. Fonte: Vale, 2012

Em todas as simulações o fator de segurança atingiu valores satisfatórios ( $FS > 1.3$ ).

### 3.8 Barragem V Mutuca

Os projetos citados até aqui são caracterizados por recuperação de finos em barragens sem lamina d'água que foram conduzidos para suprir déficit de atendimento a demanda extra de mercado em processos de produção não inclusos nos orçamentos anuais.

Pelos aspectos físicos e ambientais não exigem elaboração de estudos muito complexos e são de fácil execução. As Barragens das Cavas II, X e Y estão situadas a 2,0 km da ITM IV em Mar Azul e a Barragem I a 0,5 km da ITMS na Mutuca, com recuperação via equipamentos de lavra sem custos ou investimentos adicionais.

Verificada a viabilidade desta nova tecnologia, a recuperação de material tratado como rejeito até então, estudos passaram a ser conduzidos pelas áreas estratégicas de planejamento de longo prazo, incluindo projetos de retomada de finos de barragens nos planos de produção.

Dentre estes projetos está incluso o de recuperação da Barragem V Mutuca, apresentado neste capítulo.

A Barragem V, apresentada na Figura 3.7.1 é do tipo homogênea de terra, alteada pelo método de jusante, equipada com sistema extravasor de lâmina livre. Atingiu a elevação final (1004 m) em dezembro de 1994, acumulando o volume de maciço de 970.000 m<sup>3</sup>, É classificada como Classe III, segundo a deliberação da COPAM87/2005.

Recebeu os rejeitos do processo de beneficiamento da Usina da Mutuca até o ano de 2002, quando após exaustão da lavra a cava da Mina da Mutuca foi licenciada para disposição de rejeitos. A Barragem V, além de conter os finos depositados até então, passou a ter como utilidade a retenção de sedimentos erosivos, a reservação de água industrial e a clarificação da água efluente final da Mutuca.

São realizados monitoramentos constantes dos indicadores ambientais e de segurança pela Vale.





Figura 3.8.1 – Barragem V e Cava da Mutuca. Fonte: Vale, 2011.

Para a realização do projeto de foram realizados estudos pelas Gerências do DIPF- Departamento de Planejamento de Gestão de Ferrosos e do DIFL - Departamento de Operações Ferrosos Sul.

A Gerência de Meio Ambiente conduziu Relatório de Controle Ambiental e Plano de Controle Ambiental, elaborado pela empresa Arcadis Tetraplan.

Estima-se uma massa depositada de 12,6 Mt com 55,4 % de Fe e 10,3% de SiO<sub>2</sub>. A estimativa inicial é de uma produção de 2.030.000 t/ ano.

O macro processo é apresentado na Figura 3.7.2. Segundo o projeto proposto nos relatórios, o material da draga será bombeado da barragem até o nível das instalações existentes através de um mineroduto cujo desnível a vencer será de 200m. Deverá ser previsto um Tromell para retirada de contaminantes antes do mineroduto. A etapa de beneficiamento consiste em um peneiramento de proteção, uma etapa de desaguamento, que terá também o papel de deslamagem sendo o underflow do ciclone direcionado para um concentrador magnético e o overflow será direcionado para a cava da Mutuca. O

concentrado magnético será desaguado e filtrado. O rejeito magnético irá para a cava da Mutuca.

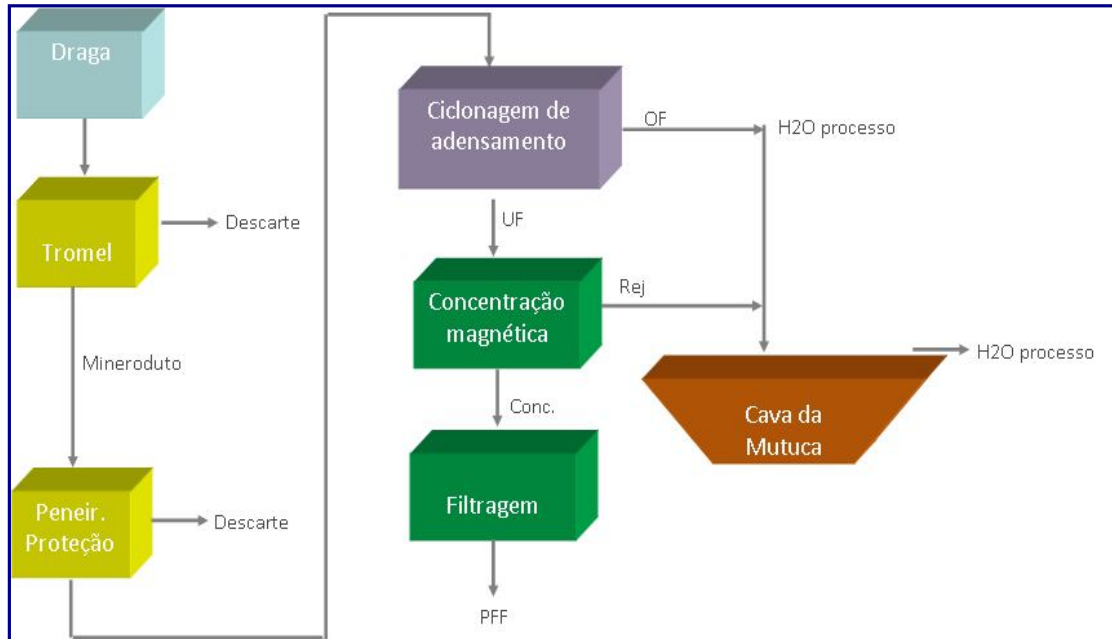


Figura 3.8.2: Fluxograma Macro / Recuperação Finos Barragem V. Fonte: DIPF, Vale.

Ainda de acordo com projeto inicial, a rota de processo propõe que a polpa a ser alimentada na planta, com cerca de 40% de sólidos em massa, será transportada através de sistema de draga, montada sobre balsa, que a encaminhará para uma peneira tipo Tromell, para descarte do material acima de 1 mm, bem como a remoção de contaminantes compostos principalmente por matérias orgânicas e sucatas. O “undersize” do peneiramento, material abaixo de 1 mm, será lançado num tanque, localizado próximo a barragem, dotado de agitador, de onde será bombeado e encaminhado, através de mineroduto, até as instalações de beneficiamento da Mutuca. A deslamagem / adensamento da polpa será efetuada através de hidrociclones de 10” de diâmetro, com corte de 6 micrômetros.

O overflow da ciclonação será encaminhado para a cava existente, enquanto o underflow seguirá para o Tanque de Polpa de Alimentação da concentração magnética. O concentrado da concentração magnética será bombeado para o tanque de alimentação da filtragem e o rejeito bombeado para a cava existente.

Para a filtração do produto serão utilizados filtros verticais de discos, a vácuo. As unidades de ciclonação e filtração serão instaladas no prédio dos “Ferrous Weels”. O encaminhamento da torta originada na filtração até o pátio de estocagem deverá ser feito através de transportador de correia. O projeto será desenvolvido de tal forma que as interferências com o processo produtivo atual sejam as mínimas possíveis.

#### 4. CONCLUSÕES

Os projetos aqui apresentados são objetos de ações inovadoras e imediatas.

No caso das barragens das Cavas II e X de Mar Azul, são projetos praticamente realizados ao mesmo tempo que eram planejados. A falta de registros históricos não foi um impedimento e sim um agente motivador para a criatividade e desenvolvimento de opções tecnológicas por parte dos envolvidos nos processos de planejamento e operação do Complexo Paraopeba.

O grande desafio foi saber tirar proveito da dificuldade gerada em um momento de adversidade, quando decisões tomadas na crise de 2008 acabaram por gerar impedimentos operacionais na retomada de produção em 2010.

Além de se tornarem viáveis economicamente, os projetos se demonstraram benéficos ao meio-ambiente e a sociedade.

Contribuíram com a sociedade ao garantirem o atendimento a demanda de produção, com geração de sobriedade de mais dois anos a unidade de Mar Azul com conseqüente manutenção de empregos e pagamento de impostos ao município onde a unidade produtora está instalada.

Financeiramente diminuiram a necessidade de abertura de novas lavras de minério de ferro e de novas áreas para deposição de estéril. . Neste sentido é interessante que esse tipo de empreendimento seja destacado como um benefício para a qualidade ambiental.

.O projeto da Cava Y, se aprovada a licença ambiental, terá os mesmos benefícios e resultados.

Quanto a Barragem I Mutuca, o produto estocado sobre esta área já está sendo retirado, movimentado para outra área de estoque em atendimento a programação de carregamento de trens. Espera-se que até o mês de outubro se inicie a recuperação dos fins de barragem com expectativas que a massa retomada seja maior que a estimada, a exemplo do ocorrido na Cava X. O projeto e as estimativas de massa e qualidade serão atualizados à medida que se avançar na execução da lavra.

Quanto a Barragem V, a remoção do rejeito de minério de ferro devolverá à mesma a sua capacidade volumétrica, restaurando as condições operacionais desta estrutura possibilitando um maior acúmulo de água com qualidade.

Diferente das barragens sem lamina d'água, os parâmetros de controle e monitoramento são mais complexos. Os custos do projeto são maiores com investimentos em



equipamentos, energia elétrica, implantação de nova rota de processos com sistemas de manuseio de polpa, de água, de tratamento de efluentes e projetos de terraplenagem e de drenagem.

Estes investimentos são baixos se considerados não só o retorno com relação ao preço de venda atual do minério de ferro, mas os benefícios gerais já citados, relacionados ao meio-ambiente.

## **5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Neste trabalho foram apresentadas projetos de inovação em atendimento a demandas de contingências com excelentes resultados sem uma base histórica de dados para balizamento de estudos iniciais de projetos.

Além de barragens e rejeito seria interessante estudar áreas de retenção pluviais com potenciais de aproveitamento econômico.

Vale ressaltar que todo ano as empresas de mineração emitem relatórios anuais de lavra (RAL) para o DNPM. No entanto, os dados destes relatórios não são consolidados.

É essencial a consolidação destas informações em local que permita a consulta para elaboração de novos projetos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Inventário estadual de barragens do estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 2011. 31p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Inventário de resíduos sólidos da mineração*; ano base 2010. Belo Horizonte: FEAM, 2011. 47p.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. Brasília: DNPM, 1972-. Anual. Utilizado ano 2010 V.35. ISSN 0100-9303.

SAMITRI. Histórico. *Cronologia*. Disponível em <<http://www.samitri.com.br/port/index/htm>>. Acesso em: 04 de julho de 2012.

MME. *Relatório técnico 05*; evolução do mercado mineral mundial em longo prazo. Contrato projeto estatal para elaboração do plano duodecenal (2010-2030) GMTM - Produto 01. J. Mendo Consultoria, 2009. 106p.

MME. *Relatório técnico 18*; perfil da mineração de ferro. Contrato projeto estatal para elaboração do plano duodecenal (2010-2030) GMTM - Produto 09. J. Mendo Consultoria, 2009. 63p.

SIMINERAL. Mineração. Ferro. *Ferro-IBRAM*. Disponível em <<http://simineral.org.br/mineracao/?id=7>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

SILVA, W. *Dados Mar Azul*; remoção barragens. Nova Lima: Vale, 2012. 01p. (Dados operacionais, Mineração).

GEO BAU. Brasil - *Recursos minerais*. Disponível em <<http://www.marcosbau.com/geobrasil-2/brasil-recursos-minerais-metalicos>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2012.

DIPF. *Recuperação de Barragens*. Nova Lima: Vale, 2011. 25p. Apresentação em Power Point.

VALE S/A. *Recuperação de Barragens de Rejeito*; Desafios/Solução aplicada/ Resultados. Nova Lima: Vale, 2011. 09p. Apresentação em Power Point.

LAGE, B. *Minério de ferro*. Nova Lima, 2012. 02p. (Informações específicas, Mineração).

BRITO, A. *Minério em alta faz Vale investir em recuperar toneladas de rejeito*. Folha de S. Paulo, São Paulo, 23 ago. 2011. Folha Mercado, p. B11.

VALE S/A. *RELATÓRIO DE CONTROLE AMBIENTAL – RCA E PLANO DE CONTROLE AMBIENTAL – PCA*; recuperação de finos em barragens. Barragem V – Mina da Mutuca. Nova Lima: Vale, 2010. 147p. (Relatório processo, Mineração).

MINERAL DATA. Substância - *Ferro*. Disponível em <<http://mineraldata.cetem.gov.br/mineraldata/app/>>. Acesso em 05 de junho de 2012.

INDEXMUNDI. *Commodities Data*. Disponível em <<http://www.indexmundi.com/>>. Acesso em 30 de maio de 2012.