



MINISTERIO DA EDUCACAO E DO ESPORTE
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM



ESTUDO DE VIABILIDADE PARA RECUPERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO EM REJEITOS CONTIDOS EM BARRAGENS

Autora: **FERNANDA FERRANTE**

Orientador: **Prof. Dr. HERNANI MOTA DE LIMA**

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

Área de concentração:

Lavra de Mina

Ouro Preto/MG

Março de 2014.

FERNANDA FERRANTE

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA RECUPERAÇÃO DE MINÉRIO DE
FERRO EM REJEITOS CONTIDOS EM BARRAGENS**

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

Área de concentração: Lavra de Minas

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

OURO PRETO - MG

2014

F373e

Ferrante, Fernanda.

Estudo de viabilidade para recuperação de minério de ferro em rejeitos contidos em barragens [manuscrito] / Fernanda Ferrante. - 2014.

85f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral.

Área de Concentração: Lavra de Mina.

1. Beneficiamento de minério. 2. Resíduos industriais. 3. Viabilidade econômica. I. Lima, Hernani Mota de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.341

[Catalogação: www.sisbin.ufop.br](http://www.sisbin.ufop.br)

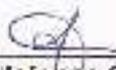
**“ESTUDO DE VIABILIDADE PARA RECUPERAÇÃO DE MINÉRIO
DE FERRO EM REJEITOS CONTIDOS EM BARRAGENS”**

AUTOR: FERNANDA FERRANTE

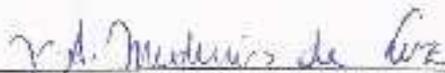
Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 20 de março de 2014, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



• Prof. Dr. Hernani Mota de Lima (Orientador) – UFOP



• Prof. Dr. José Idefonso Gusmão Dutra (Membro) – UFMG



• Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz (Membro) – UFOP

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria e Benedito, pelo amor
e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e permitir a realização de mais um grande sonho.

Agradeço aos meus pais por todo carinho e por estarem sempre presentes.

Ao meu irmão Fabiano pelo carinho e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hernani Mota de Lima, pela orientação, ensinamentos, confiança e principalmente pela paciência.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, pelo apoio e ensinamentos.

Ao Paulo pelo carinho, apoio e incentivo que foram fundamentais na realização deste trabalho.

Às eternas amigas da República Rosa Xoque.

À amiga Tábata, pela cuidadosa ajuda na fase final desta pesquisa.

À amiga Gabriela, pela amizade, incentivo e também pelo convívio durante esta fase.

*Só se pode alcançar um grande êxito quando
nos mantemos fiéis a nós mesmos.*

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Este estudo teve como objetivo fazer uma análise técnica e econômica do aproveitamento de rejeito de minério de ferro por concentração magnética. A metodologia adotada neste estudo incluiu uma revisão bibliográfica do estado da arte do aproveitamento de rejeitos de minério de ferro; a caracterização dos rejeitos contidos nas barragens objeto de estudo; a análise granulométrica e química e a análise de viabilidade técnica e econômica de se concentrar o ferro contido nesses rejeitos. Para a geração de dados para as análises técnica e econômica foram realizados ensaios de recuperação do rejeito. Por fim, foi realizada uma análise técnica e econômica do produto gerado que serviu de base para a comprovação da viabilidade de aproveitamento do rejeito. A análise de custos incluiu as operações de carga e transporte, os custos com manutenção dos equipamentos móveis e da planta de beneficiamento, suprimentos para operacionalidade da planta e dos equipamentos móveis, mão de obra direta envolvida e também os custos com serviços para controle de segurança e controle ambiental das pilhas de rejeito. Os custos envolvidos no manuseio do rejeito referem-se às operações de remoção de rejeito das barragens, empilhamento do material com o objetivo de reduzir umidade, remoção do material empilhado e transporte até a planta. Além dos custos operacionais envolvidos no manuseio do rejeito foram também incluídos os custos relacionados aos de segurança e ambientais das pilhas de rejeito. Para a análise de viabilidade foram utilizados os métodos do VPL (Valor Presente Líquido), método TIR (Taxa Interna de Retorno) e *Payback* descontado. De acordo com o fluxo de caixa elaborado para o investimento em estudo, o retorno financeiro deste projeto é alcançado após um período de 11 meses. A análise de investimento foi feita para um período de 4 anos. Além da viabilidade técnica e econômica a recuperação de ferro em rejeitos de mineração consiste na melhoria nos índices de sustentabilidade ambiental pela redução do passivo da barragem de rejeitos e nos índices de sustentabilidade da mineração por maximizar o aproveitamento dos recursos minerais.

ABSTRACT

This study aimed to make a technical and economic analysis of the utilization of iron ore tailings magnetic concentration. The methodology adopted in this study included a literature review of the state of the art of utilization of iron ore tailings; characterization of tailings dams contained in the object of study; the grain and chemical analysis and analysis of technical and economic feasibility of concentrating the iron contained in these tailings. To generate data for the technical and economic analyzes of the tailings recovery assays were performed. Finally, a technical and economic analysis of the generated product that formed the basis for proving the feasibility of harnessing the waste was performed. The cost analysis included cargo operations and transportation, maintenance costs of mobile equipment and beneficiation, supplies for operation of the plant and mobile equipment, direct labor involved plant and also the cost of services for security control and environmental control of the tailings piles. The costs involved in handling the waste refer to the removal of tailings dams, stacking the material in order to reduce moisture, remove the stacked materials and transportation to the plant operations. In addition to the operational costs involved in handling the waste were also included costs related to safety and environmental aspects of tailings piles. For feasibility analysis methods NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return) and discounted payback method were used. According to the cash flow prepared to invest in the study, the financial return of the project is reached after a period of 11 months. The investment analysis was made for a period of 4 years. Besides the technical and economic feasibility of recovering iron mining tailings consists of improvements in the environmental sustainability index by reducing tailings dam liabilities and in the mining sustainability index by maximizing the use of mineral resources.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 REJEITOS DE MINERAÇÃO	5
2.2 DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	6
2.3 RECUPERAÇÃO DE FINOS DE MINÉRIO DE FERRO	10
2.4 ESTUDOS DE RECUPERAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	11
2.5 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	13
2.6 MÉTODOS DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	15
2.6.1 Flotação	16
2.6.2 Concentração magnética	17
<i>2.6.2.1 Concentrador magnético de tambor</i>	19
<i>2.6.2.2 Concentrador magnético de alta intensidade tipo Jones ou Carrossel</i>	20
<i>2.6.2.3 Concentrador magnético de alto gradiente</i>	21
2.7 CENÁRIO MUNDIAL DE MINÉRIO DE FERRO	22
2.8 AVALIAÇÃO DE CUSTOS E INVESTIMENTOS NA MINERAÇÃO	25
2.8.1 Fluxo de caixa	27
2.8.2 Avaliação econômica do empreendimento	28
3 ESTUDO DE CASO	30
3.1 METODOLOGIA PARA MANUSEIO DO REJEITO	31
3.2 PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DO REJEITO	32

4 METODOLOGIA	35
4.1 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS DO REJEITO	35
4.2 ANÁLISE DOS CUSTOS	36
4.3 PRECIFICAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO	37
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
5.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO REJEITO E DO CONCENTRADO DE MINÉRIO DE FERRO	40
5.2 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS	44
5.3 ANÁLISE DOS CUSTOS	47
5.3.1 Custos com mão de obra direta	47
5.3.2 Custos com manutenção	49
5.3.3 Custos com suprimentos para operacionalidade da planta e dos equipamentos móveis	52
5.3.4 Custos com controle de segurança e estabilidade das pilhas de rejeito	55
5.3.5 Custos com frete ferroviário e serviço portuário	55
5.3.6 Consolidação dos custos de operação	55
5.4 INVESTIMENTO EM CAPITAL	56
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO I – Demonstração do Resultado do Exercício	
ANEXO II – Cálculo do Preço de Exportação do Minério de Ferro	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Métodos construtivos de barragens de rejeito (a) jusante; (b) linha de centro; (c) montante	8
FIGURA 2: Exemplo de pilha de rejeito construída pela técnica de aterro hidráulico	9
FIGURA 3: Características, classificação e aplicações dos concentradores magnéticos	19
FIGURA 4: Concentrador Magnético de tambor	20
FIGURA 5: Concentrador Magnético tipo Jones ou Carrossel instalado na Mina de Alegria/MG	21
FIGURA 6: Concentrador Magnético tipo Ferrous Wheel	22
FIGURA 7: Reserva mundial de minério de ferro (bilhões de toneladas)	23
FIGURA 8: Distribuição percentual das reservas brasileira de minério de ferro, por estados	24
FIGURA 9: Fluxograma manuseio de rejeito	32
FIGURA 10: Fluxograma de concentração magnética aplicada ao rejeito de minério de ferro	33
FIGURA 11: Iron Ore Monthly Price	37
FIGURA 12: Fórmula utilizada para precificação do minério de ferro	38
FIGURA 13: Distribuição granulométrica da amostra 1	42
FIGURA 14: Distribuição granulométrica da amostra 2	42
FIGURA 15: Distribuição granulométrica da amostra 3	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Composição química do rejeito granular da Barragem do Germano	15
TABELA 2: Composições químicas do rejeito da Pilha do Monjolo	15
TABELA 3: Crescimento na Produção Mineral até 2016	25
TABELA 4: Valores utilizados para precificação do minério de ferro	38
TABELA 5: Análise química do rejeito de minério de ferro	40
TABELA 6: Análise da distribuição granulométrica do rejeito	41
TABELA 7: Análise química do concentrado	43
TABELA 8: Planejamento da produção e dimensionamento da frota de equipamentos móveis	44
TABELA 9: Índices operacionais utilizados para dimensionamento dos equipamentos necessários à operação de movimentação de rejeito	45
TABELA 10: Número de equipamentos necessários	46
TABELA 11: Dimensionamento de mão de obra	47
TABELA 12: Custo estimado com mão de obra	48
TABELA 13: Custos com serviços de manutenção da usina	50
TABELA 14: Custos com materiais de manutenção da usina	51
TABELA 15: Custos de manutenção dos equipamentos móveis	52
TABELA 16: Consumo de combustível médio dos equipamentos móveis	53
TABELA 17: Levantamento dos custos com consumo de combustível	54
TABELA 18: Consolidação dos custos	56
TABELA 19: Relação de investimento em equipamentos de usina	57
TABELA 20: Relação de investimento em equipamentos móveis	57
TABELA 21: Relação de investimentos para implantação do projeto	58
TABELA 22: Variação da taxa de câmbio	59
TABELA 23: Cálculo do Valor Presente Líquido e Valor Acumulado	59

LISTA DE ABREVIATURAS

DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

PPC – Perda por Calcinação

FOB – *Free on Board*

VPL – Valor Presente Líquido

TIR – Taxa Interna de Retorno

CRU - *Commodities Research Unit*

FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

SESI – Serviço Social da Indústria

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

dmt – *dry metric tons* (toneladas base seca)

wmt – *wet metric tons* (toneladas base úmida)

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Considerações Gerais

O beneficiamento de minérios é o tratamento industrial que prepara granulometricamente, purifica ou enriquece minérios por métodos físicos ou químicos, sem alteração da constituição química dos minerais. O beneficiamento divide o mineral bruto em concentrado e rejeito (ARAUJO, 2006). Os minerais que são descartados do processo de beneficiamento, por não possuírem teor ou granulometria adequados, são caracterizados como rejeitos. São materiais fabricados cujas propriedades dependem, num primeiro momento, das características de beneficiamento e do tipo de mineral lavrado. Posteriormente estas propriedades passam a ser afetadas também pelo modo da sua disposição final (LIMA, 2006).

Ao longo dos anos, com o investimento em tecnologia de tratamento de minérios, foi possível buscar alternativas para tratamento de rejeitos e recuperação do conteúdo “metálico” e frações granulométricas antes descartadas. A proximidade da exaustão das reservas minerais com alto teor metálico também trouxe a necessidade de recuperar esses tipos de rejeitos.

O empobrecimento das jazidas de minério de ferro ocorre paralelamente ao crescimento da demanda dessa *commoditie* mineral no mercado internacional, forçando as empresas mineradoras a investirem no aperfeiçoamento de suas operações, no desenvolvimento de novas tecnologias e principalmente no desenvolvimento de novos projetos. Diante desse cenário o aproveitamento de minérios de baixo teor e tratamento dos rejeitos estocados nas barragens surgem como grandes oportunidades e desafios para a indústria da mineração (GOMES, 2012).

O aproveitamento econômico de rejeitos de minério de ferro já é uma realidade na mineração, com geração de produtos finais com as mesmas qualidades daqueles já comercializados no mercado, como exemplo em Carajás pela Vale e em Ouro Preto pela Namisa e outros projetos em estudos como em GOMES *et al.*, 2011 e GOMES, 2012. Entretanto, o assunto é vagamente tratado na literatura.

A nítida tendência do aumento da produção de rejeitos de minério de ferro se confronta com as dificuldades impostas pelos órgãos ambientais para o licenciamento de novas áreas de disposição de rejeitos. Além disto, existe a preocupação dos órgãos ambientais quanto aos aspectos operacionais, de segurança e possíveis danos associados às barragens que compõem o reservatório para disposição destes rejeitos (PORTES, 2013). Favorável ao aproveitamento de rejeitos há a possibilidade concreta de eliminação/minimização do passivo ambiental das barragens existentes e/ou redução do tamanho dessas e dos riscos à segurança a elas associados (REIS, 2005).

Esse estudo teve como objetivo principal conduzir uma análise técnica e econômica do aproveitamento de rejeito de minério de ferro. A metodologia envolveu uma revisão bibliográfica do estado da arte do aproveitamento de rejeitos de minério de ferro; a descrição do estudo de caso utilizado como base para análise do processo; a caracterização dos rejeitos contidos nas barragens e a análise granulométrica e química do produto gerado. Por fim, foi realizada uma análise técnica e econômica do produto gerado que serviu de base para a comprovação da viabilidade de aproveitamento do rejeito.

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de rejeitos, via concentração magnética de alta intensidade. Mais ainda, pode-se inferir os ganhos financeiros e ambientais desse aproveitamento. O estudo sugere ainda, um procedimento operacional com vistas a otimizar o manuseio do rejeito, que inclui o método de remoção do rejeito da barragem, sua fase intermediária (empilhamento do rejeito para redução do percentual de umidade) e todos os métodos de controle de segurança presentes na fase intermediária até a alimentação da usina.

1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, incluindo o presente capítulo introdutório onde são apresentadas as considerações iniciais, objetivos e estruturação da dissertação.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica abordando os conceitos de rejeito de mineração, recuperação de rejeito de minério de ferro e o cenário mundial de minério de ferro. Este capítulo foi dividido em oito subitens, o primeiro aborda os conceitos de rejeitos de mineração, o segundo aborda as alternativas para sua disposição, o terceiro capítulo aborda a recuperação de rejeito de minério de ferro, o quarto aborda alguns estudos sobre a recuperação de rejeito de minério de ferro, o quinto apresenta a caracterização mineralógica do rejeito de minério de ferro, o sexto aborda os métodos de concentração aplicados para a recuperação dos finos de minério, o sétimo capítulo descreve o cenário do mercado de ferro e as reservas presentes no Brasil e o oitavo aborda os critérios de avaliação dos custos na mineração.

O capítulo 3 apresenta o estudo de caso utilizado como exemplo para análise do processo e levantamento dos custos envolvidos na operação.

O capítulo 4 descreve a metodologia adotada para realização do estudo, bem como aborda as premissas utilizadas para o estudo de viabilidade na recuperação de rejeito de minério de ferro através de concentração magnética.

No capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos através das amostragens de rejeito e de concentrado de minério de ferro, fazendo referência as pesquisas conduzidas neste assunto e descritas no capítulo 2. São levantados todos os custos envolvidos na operação de manuseio e transporte de rejeito e transporte de produto, assim como a viabilidade de instalação de planta de concentração magnética para beneficiamento de rejeito de minério de ferro.

O capítulo 6 apresenta as conclusões com base nas análises efetuadas nos capítulos anteriores. No capítulo 7 são apresentadas as principais sugestões para a continuidade desta pesquisa.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta uma revisão do estado da arte do aproveitamento de rejeitos de minério de ferro. Essa revisão aborda desde os conceitos de rejeito de mineração e os métodos de disposição, os métodos utilizados para a recuperação de finos de minério de ferro e é substanciada pela atual situação do mercado do minério de ferro.

2.1 REJEITOS DE MINERAÇÃO

Rejeito de mineração é todo o material resultante de processos químicos e físicos envolvidos na extração dos metais (ARAÚJO, 2006). A extração do minério bruto e seu beneficiamento nas unidades mineiras geram uma grande quantidade de rejeitos, a qual é crescente dado o incremento da produção em função da alta demanda mundial e devido à exaustão de jazidas de maior teor e a entrada em operação de jazidas de baixo teor (MENDES, 2007; GUIMARÃES, 2011).

Os rejeitos são consequências/produtos inevitáveis dos processos de tratamento a que são submetidos os minérios, sendo gerados, paralelamente, ao material de interesse. Em função da exaustão de minério de alto teor e da crescente lavra de minérios cada vez mais pobres, a geração de rejeitos é cada vez maior. Estes, por sua vez, impactam o meio ambiente, por ocuparem grandes áreas para sua disposição, causarem supressão da vegetação e afetarem a qualidade física e química de águas superficiais e subterrâneas, entre outros. Associa-se ainda às barragens de rejeito os riscos ambientais e à segurança de um rompimento das estruturas de contenção. Por este motivo, os rejeitos são motivo de preocupação cada vez maior nas empresas, que buscam minimizar os impactos ambientais e os custos associados aos processos de disposição, contenção e fechamento de barragens de rejeito (PORTES, 2013).

A quantidade de estéreis e rejeitos gerados numa mineração está relacionada ao método de lavra empregado, seja a céu aberto ou subterrâneo, e ao teor do mineral de minério

presente na rocha de interesse. De uma maneira geral, estes materiais são gerados em menor escala em minas subterrâneas, uma vez que, normalmente, os teores do minério se apresentam mais elevados e a tonelagem de material lavrado é menor (FIGUEIREDO, 2007).

O impacto ambiental representa um dos aspectos mais relevantes em mineração, constituindo-se em uma de suas consequências mais combatidas. Por outro lado, a mineração é um dos setores básicos da economia do país e contribui sobremaneira para o desenvolvimento de uma região, estado ou país, via geração de riquezas e a melhoria da infraestrutura local. O desenvolvimento de uma região está diretamente ligado à mineração quando da implementação de um empreendimento mineiro. Entretanto, para a garantia da qualidade de vida das presentes e futuras gerações é fundamental que tal empreendimento seja operado com responsabilidade técnica, ambiental e social, em concordância com os preceitos do desenvolvimento sustentável (FERNANDES e SANTOS, 2008).

2.2 DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

Atualmente a disposição de rejeitos tem sido um aspecto muito focalizado nos estudos do plano diretor de uma empresa de mineração. A segurança e o perfeito funcionamento destes sistemas são fundamentais para a contínua realização das atividades mineiras. No Brasil, a disposição de rejeitos em forma de polpa ainda é a técnica comumente usada e requer grandes estruturas de terra ou rejeitos grossos (barragens) para contenção dos rejeitos ou da fração finas desses, respectivamente.

Os rejeitos podem ser descartados sob a forma sólida (pasta ou granel), ou líquida (polpa de água com sólidos ou lama), podendo sua disposição ser feita em superfície, em cavidades subterrâneas ou em ambientes sub-aquáticos, esta última com algumas restrições do ponto de vista ambiental. A forma de disposição dos rejeitos está relacionada diretamente ao tipo de minério e de processo empregado para o seu beneficiamento. Ou seja, em princípio, seu estado de disposição (pasta, granel ou polpa)

está condicionado às etapas do processo e às características da planta, e podem, posteriormente, ser alterado conforme a metodologia proposta para a sua disposição final. Entretanto, a alteração do estado do rejeito para atendimento à metodologia de disposição compreende, única e exclusivamente, mudança no seu estado de concentração e não de suas características intrínsecas físico-químicas e mineralógicas. Além disso, as diversas metodologias existentes e os procedimentos de disposição de rejeitos resultam em depósitos com propriedades de engenharia substancialmente diferentes (FIGUEIREDO, 2007).

Quanto aos métodos construtivos de barragens de rejeitos, construídas por alteamentos sucessivos, três tipos clássicos podem ser citados: Método de Montante, Método de Jusante e Método de Linha de Centro. O Método de Montante é considerado o mais econômico e de maior facilidade executiva. Entretanto, neste caso, apesar das vantagens apresentadas e da necessidade de menores áreas para disposição, estas estruturas, principalmente quando alteadas com o próprio rejeito do processo, merecem maior controle no acompanhamento durante a etapa construtiva, uma vez que apresentam algumas desvantagens relacionadas à dificuldade de controle da superfície freática, susceptibilidade ao *piping*, maior propensão a processos erosivos nas superfícies e probabilidade de liquefação (ESPÓSITO, 2000). O método de alteamento de jusante é considerado mais seguro que o de montante, entretanto, de custo construtivo maior que o de montante. No de alteamento de linha de centro, por sua vez, buscou-se maximizar as vantagens oferecidas pelos métodos de jusante e de montante.

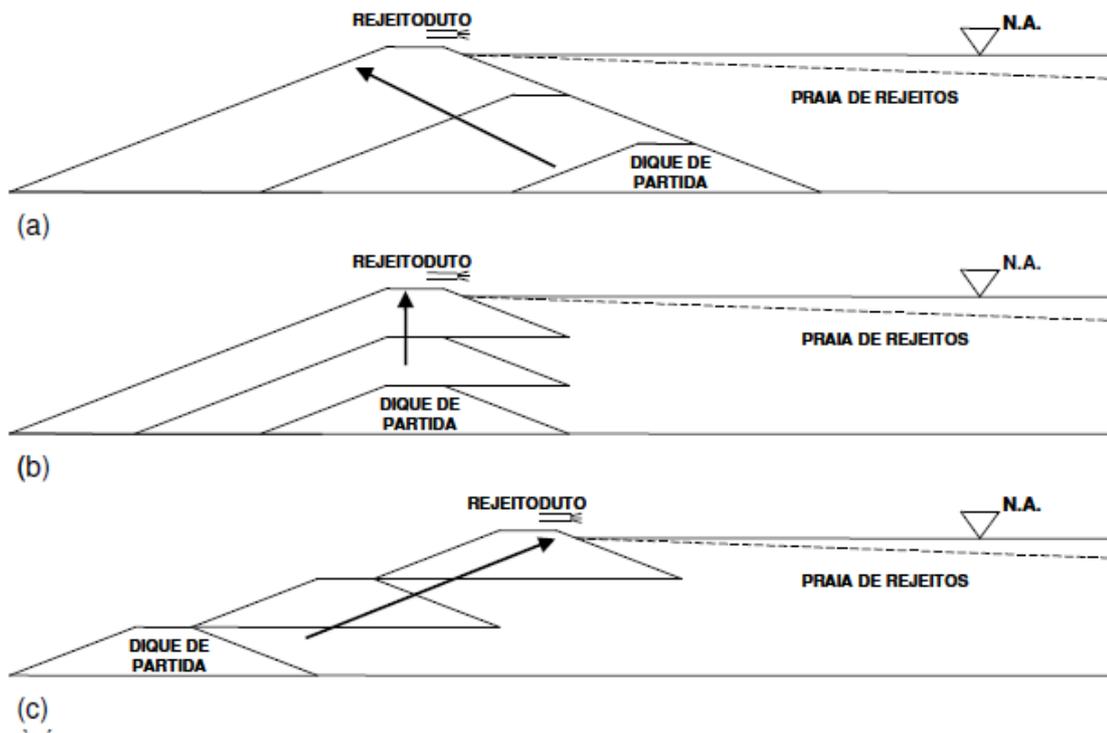


FIGURA 1: Métodos construtivos de barragens de rejeito (a) jusante; (b) linha de centro; (c) montante (PEREIRA, 2005).

Visando minimizar os altos custos com a disposição de rejeitos em bacias de contenção, as empresas do setor de mineração vêm procurando alternativas para dispor este material de maneira mais econômica e sustentável. Diversas alternativas têm sido estudadas e adotadas e segundo Guimarães, (2011) a filtragem e a disposição dos rejeitos em pilhas pode ser uma alternativa viável dentro deste contexto.

Outro método de disposição de rejeito utilizado, principalmente nas empresas do setor de minério de ferro, é o método de disposição através de empilhamento drenado. Este método é utilizado com rejeitos granulares, originados do processo de beneficiamento que não incluem a fase de tratamento de finos (Figura 2).



FIGURA 2: Exemplo de pilha de rejeito construída pela técnica de aterro hidráulico (ESPÓSITO, 2000).

Segundo Portes (2013) na técnica de disposição de rejeito por empilhamento drenado, os rejeitos granulares são depositados sob a forma de pilha, através da técnica de aterro hidráulico. A pilha deve ser dotada de um sistema de drenagem interna eficiente e os rejeitos devem ter coeficiente de permeabilidade tal que permitam a drenagem da camada lançada de forma otimizada com a área operacional disponível e a produção diária.

Para Pimenta de Ávila (2011), os principais objetivos do método de empilhamento drenado são:

- obter um maciço não saturado e estável.
- obter maior densidade e, portanto, maior capacidade e vida útil.
- obter menor potencial de dano em uma eventual ruptura.
- obter maior facilidade para o fechamento e recuperação ambiental.
- aplicar de forma segura o método de montante, com baixo risco de liquefação e de ruptura.

As mineradoras necessitam, em seu planejamento de longo prazo, incorporar em seus planos diretores alternativas de disposição de rejeitos que sejam mais seguras e econômicas e ambientalmente satisfatórias. Além disso, barragens de rejeito são estruturas geotécnicas que devem permanecer estáveis por períodos de tempo muito longos, normalmente maiores que a própria vida útil da mina (PORTES, 2013).

2.3 RECUPERAÇÃO DE FINOS DE MINÉRIO DE FERRO

A mineração iniciou suas atividades lavrando depósitos com materiais de alto teor e sem necessidade de sofisticação no beneficiamento. Conseqüentemente, os rejeitos de minério de ferro, contido em barragens antigas, apresentam hoje recursos minerais que devem ser avaliados para fins de aproveitamento. Ainda com o aumento do consumo dos bens minerais e conseqüente exaustão desses depósitos, surgiu a necessidade de melhores e modernas técnicas para tratamento de minérios de baixo teor e conseqüente maximização das reservas minerais. Materiais de granulometria mais fina, que outrora eram descartados para o meio ambiente, hoje são considerados produtos visto que podem gerar receitas positivas à indústria, bem como ganhos de produção (ROCHA e PERES, 2009).

As empresas de mineração que atuam no ramo do minério de ferro estão evoluindo para processos de beneficiamento que visam o aumento da recuperação metálica para minérios de baixo teor. Portanto, o aproveitamento de minérios de baixo teor, bem como o aproveitamento de rejeitos dispostos nas barragens, surgem como grandes oportunidades e desafios para a indústria da mineração.

A reutilização de finos de minério de ferro, oriundos das barragens de rejeito, não possui como objetivo somente a maximização das reservas, mas também a minimização dos impactos que estão relacionados com a disposição desses rejeitos em barragens.

Embora a evolução das tecnologias tenha propiciado a concentração de minério em rejeitos, a viabilidade na recuperação dos finos de minério de ferro, também está vinculada ao valor do minério de ferro no mercado.

A exaustão de recursos minerais com teores elevados e a crescente restrição e exigência ambiental corroboram com a recuperação em larga escala de antigos rejeitos e chama a atenção para a necessidade de investir na eficiência da produção. A recuperação da fração valiosa de bens minerais contida nos rejeitos depende da técnica disponível e dos custos associados considerando-se as características do rejeito e do “minério” como distribuição granulométrica, teor do metal útil e teor dos contaminantes (ZHANG *et al.*, 2006). Além dos resultados positivos relativos ao ganho de produção, aumento de vida útil da mina e a receita gerada, uma maior recuperação de finos de minério de ferro das barragens de rejeito implica em um acréscimo na vida útil das barragens, o que segundo Ghose e Sen (1999) trata-se de uma boa estratégia para a gestão ambiental de rejeitos, uma vez que reduz a demanda por uso da terra.

2.4 ESTUDOS DE RECUPERAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Os trabalhos sobre reaproveitamento de recuperação da fração mineral valiosa de rejeitos de mineração são escassos na literatura. A seguir estão relatados alguns estudos envolvendo casos de recuperação de rejeito de minério de ferro.

Rocha e Peres (2009) realizaram testes de deslamagem e flotação com lamas de minério de ferro, primeiramente em escala de bancada. Várias dosagens de coletor e depressor foram utilizadas. Os resultados promissores dos testes em escala de bancada levaram a testes em escala-piloto. Foi constatado que, com o processo de flotação catiônica reversa em colunas, utilizando-se dosagem mais elevada de depressor, consegue-se recuperação mássica da ordem de 60% e 80% de recuperação metálica, teores de 9 a 12% de Fe no rejeito e de 0,55% a 0,90% de SiO₂ no concentrado (SiO₂+Al₂O₃ < 2%), além de alta seletividade no processo. A utilização da flotação de ultrafinos é uma alternativa econômica para o aumento das recuperações nos empreendimentos mineiros.

Ainda segundo Rocha e Peres (2009) a flotação de ultrafinos também pode ser avaliada para a redução ou tratamento de efluentes descartados no meio ambiente.

O objetivo de se produzir um concentrado rico de minério de ferro das lamas por flotação catiônica reversa foi plenamente atingido. Os resultados dos testes mostraram que, nesse caso específico, não houve necessidade de altas dosagens de coletor. A necessidade de alta dosagem de reagente se restringiu ao depressor. Com dosagens de 1.000g/t de amido e 30g/t de amina, conseguiu-se um concentrado ultrafino com teores abaixo de 1% de sílica e teores de sílica + alumina abaixo de 2%, o que qualifica os *pellet feed fines* para produção de pelotas de redução direta. A boa seletividade do processo possibilitou atingir teores de rejeitos da ordem de 12% de Fe, apenas no estágio *rougher*. Uso de colunas com água de lavagem se mostrou a condição ideal para se concentrarem ultrafinos de minério de ferro, condizendo com o exposto na literatura (ROCHA e PERES, 2009).

Ajaka (2009) analisou o circuito existente na mina de minério de ferro de Itakpe, Nigéria, e realizou testes de recuperação específicos sobre o material de rejeito utilizando sedimentação e processo de flotação para a recuperação de finos de minério de ferro presente nos rejeitos. Os resultados obtidos mostraram que os teores dos concentrados alcançam de 41-62% Fe via sedimentação e flotação. Uma etapa posterior de *recleaning*, existente na usina, gerou um concentrado com teor de Fe acima de 70%.

Os resultados obtidos a partir dos testes de recuperação realizados mostrou que, com uma concepção cuidadosa, é possível recuperar uma quantidade significativa de finos de minério de ferro perdido como resíduo na rota de processo da planta de beneficiamento da mina de Itakpe. O estudo também demonstrou que, à partir do ponto de vista da usina de processamento mineral, o lucro com esta recuperação adicional supera o custo de instalação de equipamentos de processo para alcançar este objetivo (AJAKA, 2009).

Análises químicas de amostras de rejeitos da mina de Barsua, Índia, indicaram a presença de 48,30% de Fe, 10,88% de SiO₂ e 12,62 % de alumina. Observou-se que o teor de Fe poderia ser aumentado para 63-64% utilizando o processo de concentração

magnética de alta intensidade e que este processo também reduziria os teores de SiO_2 e Al_2O_3 em 50%. A concentração magnética de alta intensidade tem sido amplamente utilizada para recuperação de Fe em rejeitos (GHOSE e SEN, 1999).

Silva (2013) realizou ensaios comparativos em escala piloto com três separadores magnéticos de alto gradiente, simulando a adoção de um circuito de esgotamento (seguido de limpeza do concentrado). Dois separadores magnéticos de rotor em anel horizontal (tipo carrossel) – rotulados como W1 e W2 – e um rotor em anel vertical e pulsante (marcado como V) foram testados, separadamente. Foi empregado como alimentação do circuito rejeito típico de lama de usina de beneficiamento no Quadrilátero Ferrífero. O melhor desempenho foi a máquina W2, com intensidade de campo magnético igual a 1,2 T, sob concentração mássica de 35% na alimentação e pressão de água de lavagem dos médios igual a 300 kPa. O mais indicado para a subsequente etapa de limpeza foi o emprego do campo de 1,2 T, gerando concentrado contendo 5,48% de SiO_2 , com 62,75% de recuperação mássica.

2.5 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

A caracterização, até bem pouco tempo, era pouco aplicada a rejeitos de usinas de beneficiamento de minérios, sendo esses descartados sem maiores conhecimentos de suas características físicas, químicas e mineralógicas e de sua resposta ao processo de concentração da fração mineral valiosa contida. Nos últimos anos, isto vem mudando, não só pela maior preocupação com questões ambientais, como também em alguns casos, devido à escassez do minério e à depleção de reservas, com a consequente diminuição dos teores das minas (BORGES, 2008).

Como um subproduto do beneficiamento do minério, é fato que as características do rejeito são intrínsecas ao mineral lavrado e ao processo de beneficiamento adotado que, por sua vez, deve atender às necessidades atuais do mercado (PORTES, 2013).

Os rejeitos de mineração formam um sistema particulado semelhante ao solo natural, apresentando comportamento geomecânico e hidráulico caracterizado em termos de resistência, permeabilidade, densidade e grau de saturação, dentre outras variáveis (PENNA, 2008). O tamanho das partículas de rejeito se encontra tipicamente na faixa de partículas de areias finas e siltes. As características químicas dos rejeitos variam de acordo com o mineral de interesse e as substâncias químicas envolvidas no processo de concentração adotado (ARAUJO, 2006).

No caso dos rejeitos de minério de ferro, mesmo considerando toda a sua heterogeneidade associada ao teor de ferro e ao processo de beneficiamento, estes não apresentam plasticidade. Embora os rejeitos apresentem classificações granulométricas e algumas características geotécnicas bem definidas, o seu comportamento não deve ser avaliado unicamente através dos critérios convencionais. Todavia, torna-se necessário definir e analisar, de forma intensiva, as características peculiares aos rejeitos, uma vez que suas composições granulométricas e mineralógicas são modificadas no próprio processo industrial (PEREIRA, 2005).

Pereira (2005) cita as composições químicas dos rejeitos gerados nos diferentes processos de beneficiamento, das várias minas localizadas na região do Quadrilátero Ferrífero. Segundo o autor, as diferentes composições são basicamente caracterizadas por Fe e SiO₂ e, em menor proporção, Al₂O₃, justificada pela rocha de origem, o itabirito.

Análises químicas de um rejeito arenoso da Barragem do Germano, de propriedade da Samarco Mineração S.A. (Mariana, MG) são apresentadas na Tabela 1. Em virtude da eficiência do processo de concentração, a porcentagem de ferro apresenta um baixo teor em comparação com a da rocha de origem, que apresenta teores de ferro variando de 40% a 50%.

TABELA 1: Composição química do rejeito granular da Barragem do Germano (Fonte: PEREIRA 2005).

Composição [%]	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P
Rejeito Granular	14,20	73,00	0,26	0,01

Na Tabela 2, Ribeiro (2000) apresenta o resultado da análise química realizada no rejeito da mina de Morro Agudo do Complexo de Água Limpa (Vale), localizado no Município de Rio Piracicaba, Minas Gerais.

TABELA 2: Composições químicas do rejeito da Pilha do Monjolo (RIBEIRO, 2000).

Composição [%]	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Rejeito Granular	23,00	67,00	0,40

2.6 MÉTODOS DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

Tratamento ou Beneficiamento de minérios consiste de operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar a identidade química ou física dos minerais (LUZ e LINS, 2004).

O beneficiamento de minério de ferro, principalmente no Brasil e na Austrália, onde os depósitos de grandes dimensões e alto teores são predominantes, permite que uma parcela expressiva dos produtos seja gerada apenas por etapas de britagem e classificação. Este é o caso de Carajás (PA), por exemplo (GOMES, 2009).

A necessidade da utilização de etapas de concentração deve-se ao fato de que por processos simples de separação por tamanho não se consegue obter produtos com elevados teores de ferro (GOMES, 2009). Na maioria das vezes, as operações de concentração são realizadas a úmido. Antes de se ter um produto para ser transportado, ou mesmo adequado para a indústria química ou para a obtenção do metal por métodos hidro-pirometalúrgicos é necessário eliminar parte da água do concentrado. Estas

operações compreendem desaguamento (espessamento e filtragem) e secagem (LUZ e LINS, 2004).

Uma vez que o minério foi submetido à redução de tamanho, promovendo a liberação adequada dos seus minerais, estes podem ser submetidos à operação de separação das espécies minerais, obtendo-se, nos procedimentos mais simples, um concentrado e um rejeito (LUZ e LINS, 2004).

2.6.1 Flotação

A flotação é um método de concentração de minerais por via úmida, no qual umas partículas minerais são separadas de outras. A separação das espécies minerais se efetua na água e o veículo que serve para conduzir as partículas são as bolhas de ar que são insufladas no meio aquoso.

A concentração de minerais requer três condições básicas: liberabilidade, diferenciabilidade e separabilidade dinâmica. A liberação dos grãos dos diferentes minerais é obtida através de operações de cominuição (britagem e moagem) intercaladas com etapas de classificação por tamanho. A separabilidade dinâmica está diretamente ligada aos equipamentos empregados. As máquinas de flotação se caracterizam por possuírem mecanismos capazes de manter as partículas em suspensão e de possibilitar o contato do ar com a polpa através do sistema de aeração. A diferenciabilidade é a base da seletividade do método. A seletividade do processo de flotação se baseia no fato de que a superfície de diferentes espécies minerais pode apresentar diferentes graus de hidrofobicidade. O conceito de hidrofobicidade de uma partícula está associado à “molhabilidade” da partícula pela água. O conceito oposto a hidrofobicidade é designado como hidrofiliabilidade (GOMES, 2009).

Na flotação, as partículas de mineral minério e ganga, uma vez liberadas e em suspensão na polpa processada, têm sua hidrofobicidade alterada pela adição de reagentes, criando diferenciabilidade entre as espécies envolvidas. A separabilidade

dinâmica na flotação ocorre com a adição de bolhas de ar na polpa, causando o arraste de partículas de ganga hidrofobizadas e afundamento de partículas de mineral minério hidrofilizadas (BASTOS, 2010).

Com o objetivo de controlar as características das interfaces envolvidas no processo de flotação são utilizados compostos orgânicos e inorgânicos, de acordo com a função necessária.

A flotação de minério de ferro pode ser realizada por duas rotas: direta ou reversa. Na primeira, o óxido de ferro é flotado, usando reagentes aniônicos como sulfato de petróleo ou ácidos graxos. Na flotação reversa, a sílica é flotada com o auxílio de reagentes catiônicos (aminas) e depressores (amido) (LOPES, 2009).

A prática usual é fazer o que se chama flotação reversa que consiste em flotar o mineral de ganga, quartzo, e deprimir o mineral de minério, hematita. Isto porque a hematita é mais abundante, o que dificulta a sua remoção na espuma - a grande quantidade de hematita na espuma arrastaria, mecanicamente, uma certa quantidade de quartzo. Além disso, a hematita é pesada e teria que ser moída mais finamente para poder flutuar com a espuma (LUZ *et al.*, 2004).

2.6.2 Concentração magnética

Os processos de separação magnética se baseiam fundamentalmente numa força de interação entre o campo magnético e um dipolo magnético. A partícula, quando submetida a um campo magnético, se torna magnetizada, essa magnetização induzirá à formação dos dipolos magnéticos nos terminais da partícula, que ficará orientada ao longo das linhas do campo de magnetização. Desta maneira, a partícula se tornará um dipolo magnético e a intensidade desse dipolo (momento de dipolo) irá variar dependendo das características de cada partícula. Da composição das forças que atuam em uma determinada partícula (força magnética, força de gravidade, força de arraste hidrodinâmico e força interpartículas) e da ação de cada uma delas sobre as partículas

de características diferentes, resultarão trajetórias distintas. A viabilidade de uma partícula magnética ser recuperada em um separador magnético é determinada através da resultante entre a força magnética e as forças competitivas (GOMES, 2009).

Há uma grande variedade de separadores magnéticos, que podem ser classificados, de acordo com o uso, em dois grandes grupos, separadores a seco e a úmido. Os quais podem ser subdivididos de acordo com as características do campo de indução. Logo, são encontrados os separadores de baixa e alta intensidades, tanto para a operação a seco, quanto a úmido. A forma dos elementos que executam o trabalho de separação no equipamento exerce influência significativa sobre a classificação dos separadores. Assim são denominados separadores de tambor, de rolos induzidos, de correias cruzadas, de carrossel etc. A Figura 3 ilustra a classificação, características e aplicações dos separadores englobando os critérios de classificação apresentados (SAMPAIO e LUZ, 2004).

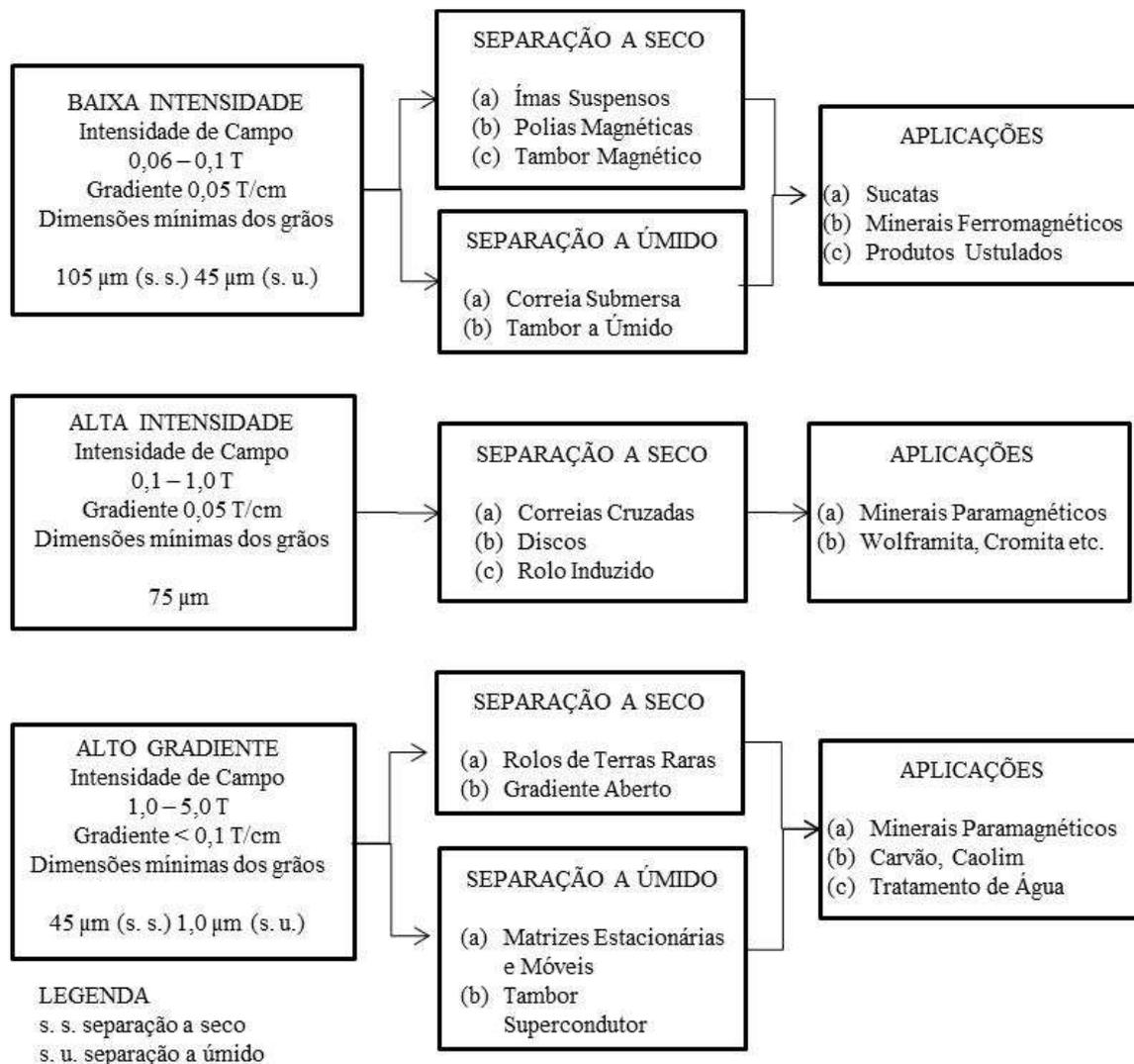


FIGURA 3: Características, classificação e aplicações dos concentradores magnéticos (SAMPAIO e LUZ, 2004).

Segundo Gomes (2009) para o minério de ferro são mais utilizados o concentrador magnético de tambor, o concentrador magnético de alta intensidade tipo Jones e o concentrador magnético de alto gradiente.

2.6.2.1 Concentrador magnético de tambor

O concentrador magnético de tambor é utilizado para concentrar e separar materiais de alta susceptibilidade magnética, trabalha com campo magnético variando de 4000 a

7500Gauss, é utilizado para recuperar magnetita, hematita martítica e agregados de hematita com magnetita ou hematita martítica. As partículas devem estar entre uma faixa de granulometria de 3,0 a 0,15mm (GOMES, 2009).



FIGURA 4: Concentrador Magnético de tambor
(GOMES, 2009).

2.6.2.2 Concentrador magnético de alta intensidade tipo Jones ou Carrossel

O concentrador magnético tipo Jones de alta intensidade é utilizado para concentrar/separar materiais de baixa e média susceptibilidade magnética, trabalha com um campo magnético variando entre 0,9 a 1,2 T, sendo que sua tecnologia trabalha com alta intensidade de campo, sendo gerado por matrizes de placas paralelas e ranhuradas (GOMES, 2009).

Apresenta como principais características alta precisão, alto custo de investimento, baixo custo operacional e operação à úmido. Além disso, proporciona vantagens significativas quando comparado aos demais equipamentos, devido principalmente à elevada eficiência de separação para granulometrias finas (menores que 1mm) (VIEIRA, 2008).



FIGURA 5: Concentrador Magnético tipo Jones ou Carrossel instalado na Mina de Alegria/MG (SOUZA, 2010).

2.6.2.3 Concentrador magnético de alto gradiente

O concentrador magnético *Ferrous Wheel* é utilizado para concentrar/separar materiais de baixa e média susceptibilidade magnética, trabalhando com um campo magnético que varia entre 9000 a 1200 Gauss, sendo que sua tecnologia trabalha com alto gradiente, por possuir malha como matriz concentradora, é utilizado para recuperar hematitas, goetitas com granulometria inferior a 0,040mm, podendo ser utilizado para granulometrias entre 0,15 a 0,040mm (GOMES, 2009).

O concentrador magnético tipo *Ferrous Wheel* é um equipamento de alta potência que propicia a geração de campos magnéticos de alto gradiente, com baixo consumo de energia. É recomendado para a separação ou concentração magnética, em via úmida, de minerais finos e fracamente magnéticos, como hematita e ilmenita. Além disso é adequado para operar com diferentes granulometrias (VIEIRA, 2008).



FIGURA 6: Concentrador Magnético tipo *Ferrous Wheel*
(SOUZA, 2010).

2.7 CENÁRIO MUNDIAL DE MINÉRIO DE FERRO

Segundo DNPM (2012), o Brasil possui 17% das reservas mundiais, ficando atrás somente da Austrália (21% das reservas). As reservas mundiais de minério de ferro são da ordem de 170 bilhões de toneladas.

Reserva Mundial de Minério de Ferro (DNPM, 2012)

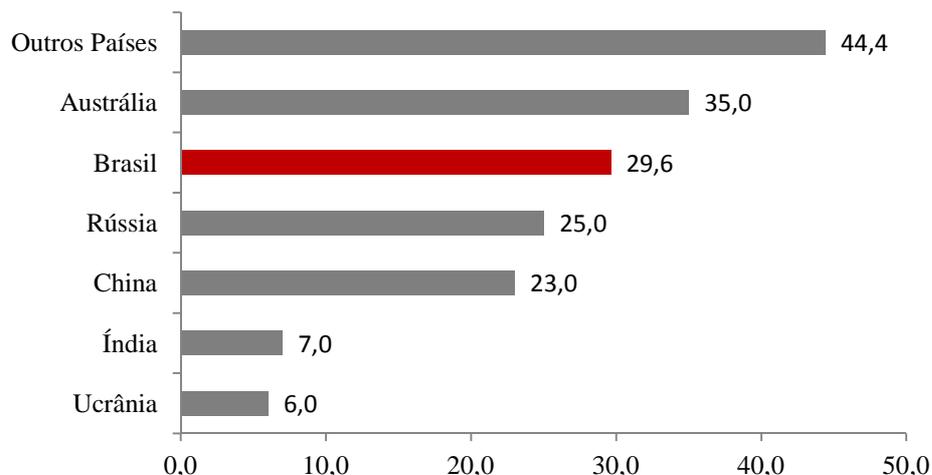


FIGURA 7: Reserva mundial de minério de ferro (bilhões de toneladas)

(Fonte: Sumário Mineral 2012, DNPM).

Entretanto, considerando-se as reservas em termos de ferro contido no minério, o Brasil assume lugar de destaque no cenário internacional. Esse fato ocorre devido ao alto teor encontrado nos minérios, Hematita (60% de Ferro), predominante no Pará, e Itabirito (50% de Ferro), predominante em Minas Gerais (IBRAM, 2012).

As reservas brasileiras totalizam 29,6 bilhões de toneladas (com um teor médio de 52,95% de ferro) e estão localizadas, em sua quase totalidade, nos estados de Minas Gerais (79,7% das reservas e teor médio de 51,4% de Fe), Mato Grosso do Sul (9,9% e teor médio de 55%) e Pará (9,1% e teor médio de 67%). A produção mundial de minério de ferro em 2011 foi de cerca de 2,8 bilhões de toneladas (+8,1% em comparação com 2010). A produção brasileira representou 14,2% da produção mundial, sendo Minas Gerais (69,1%) e Pará (27,7%) os principais estados produtores (DNPM, 2012). Ver Figura 8.

Reservas Brasileiras de Minério de Ferro (DNPM, 2012)

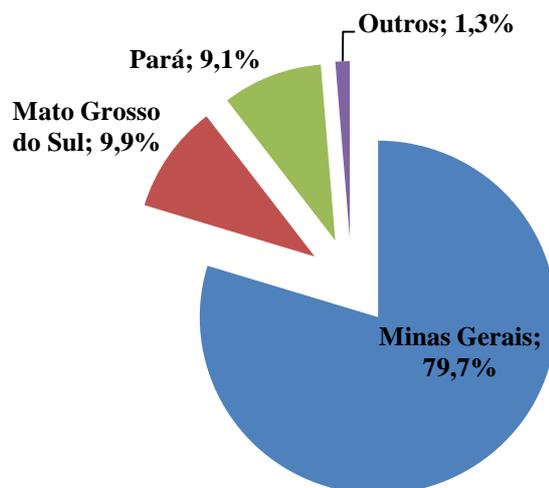


FIGURA 8: Distribuição percentual das reservas brasileira de minério de ferro, por estados (Fonte: Sumário Mineral 2012, DNPM).

Os preços médios de exportação de minério (115,91US\$-FOB/t) e pelotas (177,85US\$-FOB/t) aumentaram 40,5% e 22,6%, respectivamente, em comparação a 2010. Os altos investimentos na construção de moradias populares, urbanização e infraestrutura indicam que a demanda chinesa por minério de ferro continuará crescendo nos próximos anos, mantendo o país como o principal destino das exportações brasileiras (DNPM, 2012).

O consumo aparente de minério de ferro (produção + importação - exportação) em 2011 foi de 123,3 Mt (+8,9% em relação ao ano anterior). O consumo efetivo (consumo na indústria siderúrgica somado ao consumo nas usinas de pelotização) está estimado em 119,3 Mt (+3,3% em comparação com 2010). O consumo efetivo foi estimado com base nos dados de produção de gusa e pelotas (33,2Mt e 62,4 Mt, respectivamente) e nos índices médios de consumo pesquisados junto às empresas produtoras (1,56 t de minério/tonelada de gusa e 1,08 t de minério/tonelada de pelotas). O consumo interno de minério de ferro está concentrado nesses dois setores (gusa e pelotas) (DNPM, 2012).

Segundo IBRAM (2012), Tabela 3, o crescimento no volume de investimentos até 2016 contemplam um grande número de minérios, sendo o Minério de Ferro o principal deles, alvo de 63% do total.

TABELA 3: Crescimento na Produção Mineral até 2016 (Fonte: IBRAM, 2012).

Mineral	Produção em 2011 (1.000 t) (A)	Acréscimos até 2016 (1.000 t) (B)	Produção Prevista em 2016 (C)=(A+B)	Varição (C/A)
Agregados	673.000	176.000	849.000	26%
Ferro	369.000	451.000	820.000	122%
Bauxita	31.000	7.000	38.000	23%
Manganês	2.600	400	3.000	15%
Fosfato	1.800	700	2.500	39%
Cobre	400	200	600	50%
Potássio	290	2.110	2.400	728%
Zinco	285	65	350	23%
Nióbio	90	30	120	33%
Níquel	70	30	100	43%
Ouro	0,066	0,029	0,095	44%

Há uma contribuição acentuada de novos projetos no médio prazo, o que irá influenciar a curva de oferta e de demanda do minério entregue à China. Segundo estudos do banco *Credit Suisse*, em médio prazo, estrará em cena os desafios técnicos e logísticos, uma vez que a qualidade do minério estaria em declínio (IBRAM, 2012).

2.8 AVALIAÇÃO DE CUSTOS E INVESTIMENTOS NA MINERAÇÃO

Tendo em vista um mercado de commodities minerais, globalizado e competitivo, um estudo de avaliação econômica de empreendimentos de mineração deve ser conduzido criteriosamente, garantindo aos investidores, aplicação mais confiável e rentável para uma alternativa de investimento escolhida. Mediante técnicas de avaliação econômica

ou indicadores econômicos é possível avaliar a rentabilidade de um investimento (MIRANDA, 2011).

Os investimentos e a avaliação de custos na mineração se caracterizam pela limitação da vida útil da mina; uma vez extraído todo minério economicamente explotável existente, é forçoso o encerramento das operações. Impõe-se assim, que durante a vida útil da mina, o investidor tenha ressarcido o capital aplicado, acrescido de remuneração compatível com os riscos do empreendimento. Assim, a avaliação de custo de uma jazida se baseia em estimativas de grandezas econômicas, a saber (FERREIRA E ANDRADE, 2004):

- vida útil da mina, obtida com base na reserva de minério existente;
- custos iniciais, vida útil dos equipamentos, instalações e substituições dos mesmos;
- custos anuais de produção - Os custos de produção devem ser detalhadamente estimados e desdobrados em seus principais componentes : pessoal, material, peças sobressalentes, impostos e taxas, energia elétrica, aluguéis, serviços contratados etc. Devem também ser listados separadamente por fase dos serviços: extração, transporte interno, beneficiamento do minério, estocagem, manuseio e carregamento. Convém ainda separar os custos de operação daqueles de manutenção, constituindo, estes últimos, parcela significativa, ao contrário do que ocorre nas indústrias de transformação, em que tais custos são secundários. Os custos de pessoal devem incluir os acréscimos decorrentes da legislação trabalhista, de responsabilidade do empregador, bem como previsões para substituições de empregados em férias, acidentados, doentes, em repouso semanal etc. É importante pré-estabelecer quantos turnos de trabalho serão adotados. O consumo de materiais deve ser previsto por fase dos serviços, sendo os principais itens (reagentes, combustíveis, lubrificantes, correias transportadoras etc), indicados e especificados;
- custos de transporte - No caso de transportes ferroviário, um acordo tarifário especial pode ser obtido com reduções substanciais de preço, em relação às

tarifas oficiais. Na hipótese de transporte rodoviário, os preços podem ser obtidos mediante entendimentos com os transportadores;

- custos de administração - estes incluem todos os salários do pessoal de engenharia e de administração, material consumido, aluguéis de escritórios, luz, comunicações, despesas de viagem, treinamento de pessoal e seguros. Incluem, ainda, despesas médicas e hospitalares, de educação e de recreação do pessoal.
- custos de comercialização - compreendem os salários do pessoal de marketing e de vendas, despesas de viagem, despesas com propaganda e comissões de intermediários; estas últimas costumam ser expressivas no caso das exportações;
- custos para reabilitação da área lavrada, ao fim da vida útil da mina;
- capital de giro;
- condições de financiamentos que possam ser obtidos para a instalação inicial da mina;
- despesas de administração correspondentes ao ciclo de produção e beneficiamento.

2.8.1 Fluxo de Caixa

O Fluxo de caixa é representado pelas entradas e saídas de caixa ao longo de um período de apuração ou período contábil – normalmente um ano. O fluxo de caixa de um projeto de mineração acompanha toda sua vida útil.

WELLMER *et al.* (2008) elencaram os principais elementos de um fluxo de caixa:

- a) Investimento: Os anos de investimento são representados por valores negativos, enquanto os anos de produção por valores positivos.
- b) Custos e Receitas: A diferença entre receitas e custos operacionais é o lucro operacional (*Operating Profit – OP*) ou fluxo de caixa bruto. Vale observar que, se um investimento for financiado totalmente por recursos próprios (*equit*), apenas tributos e royalties têm de ser deduzidos para obter o fluxo de caixa

líquido. No entanto, se o capital de terceiro ou externo for utilizado – empréstimo –, os juros sobre o capital são deduzidos.

- c) Reinvestimentos (*Reinvestments*) ou gastos de capital em andamento (*ongoing capital expenditures*): Em geral, reinvestimentos terão de ser feitos durante os anos. Isso porque o tempo de vida operacional de um equipamento de mineração, por exemplo, carregadeira, dificilmente coincide com a vida útil da mina.
- d) Recuperação do Capital de Giro (*working capital*): No início de uma operação mineira, o capital de giro é requerido – como parte do investimento inicial – o qual retorna no fim da vida da mina.
- e) Receitas do valor residual de uma mina (*salvage value*): Com o término da reserva lavrável, a planta de beneficiamento ainda tem um valor residual (*salvage value*). Os equipamentos podem ser vendidos de segunda mão ou usados em outra planta de propriedade da companhia (*company-owned plant*). A quantia recebida será creditada à mina fechada.

Na escolha de uma alternativa de investimento analisa-se qual a taxa de desconto é aplicada em conjunto com os métodos do fluxo de caixa descontado. Uma empresa espera o retorno para o capital aplicado em um determinado projeto, portanto uma taxa de retorno mínima aceitável é exigida para justificar a decisão de investir em uma alternativa de investimento. Logo, um retorno superior ao custo de capital implica aumento do valor presente de um projeto e, em consequência, acréscimo no valor de suas ações (MIRANDA,2011).

2.8.2 Avaliação Econômica do Empreendimento

A tomada de decisão sobre a realização de um projeto requer critérios técnicos. A maneira mais eficaz é simular o investimento segundo algum modelo. Desta forma,

confrontam-se os fluxos de caixa gerados com o investimento realizado. Existem diversos modelos de tomada de decisão (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

Neste estudo, foi adotado o *payback* descontado, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). O método de *payback* descontado leva em conta o tempo de retorno do capital investido, considerando o valor do dinheiro no tempo. O investidor estabelece um prazo máximo para a recuperação do investimento, que servirá de padrão para a análise de viabilidade do projeto (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

O método do valor presente líquido (VPL) faz uma comparação do investimento realizado com o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto. Desta forma, o VPL positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. E, o VPL negativo significa que o projeto custa mais do que vale, ou seja, representa prejuízo caso seja executado (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

A taxa interna de retorno (TIR) representa o valor do custo de capital que torna o VPL de um investimento nulo. Ou seja, a taxa de juros que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial. O fluxo de caixa corresponde à diferença entre as entradas e saída de caixa (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

Para o estudo analisou-se uma empresa que tem suas operações de mineração alocadas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, que explora minas de minério de ferro, classifica, beneficia e exporta o minério de ferro. Entre suas operações, a empresa realiza recuperação de rejeito das barragens e beneficia através de concentração magnética gerando o produto concentrado, que também é exportado.

A empresa possui duas usinas de beneficiamento, a primeira usina é composta por britagem primária e classificação, onde é gerado o produto classificado como *sinter feed*, o rejeito deste processo é conduzido para a planta de concentração magnética, onde é gerado o concentrado. O rejeito da concentração magnética é disposto nas barragens de rejeito.

O empreendimento objeto do estudo de caso possui duas barragens que foram construídas para disposição de rejeitos originados do processo de beneficiamento do minério de ferro. Desta forma as estruturas desempenham função de retenção, clarificação dos efluentes e recirculação de água para as plantas de beneficiamento.

Devido à proximidade existente entre as instalações de beneficiamento e as barragens de rejeito, a empresa optou por recuperar os finos de minério de ferro contido nos rejeitos estocados nas barragens.

A usina de concentração magnética é composta por quatro separadores magnéticos, dos quais dois são utilizados para o rejeito da usina de britagem primária e classificação e os outros dois separadores magnéticos são utilizados para recuperação do rejeito contido nas barragens.

O alto teor de ferro no rejeito e a existência de uma planta de concentração magnética composta por dois separadores magnéticos de alta intensidade, na usina de tratamento

de minérios, possibilitaram alcançar tal objetivo. Entretanto, apesar desses fatores positivos, faz-se necessário uma análise econômica dessa alternativa.

Nos subitens que se seguem encontram-se detalhadas a metodologia para manuseio do rejeito e a descrição do processo de concentração magnética do rejeito e análise química e granulométrica do rejeito e do concentrado de minério de ferro.

3.1 METODOLOGIA PARA MANUSEIO DO REJEITO

O método de remoção de rejeito da barragem que é utilizado neste estudo de caso constitui de operações de remoção do material da bacia através do uso de equipamentos de carga como escavadeiras.

Com essa característica o material pode ser carregado, transportado e empilhado em uma área intermediária. O objetivo desse empilhamento é reduzir a umidade e controlar o processo de disposição de forma a possibilitar retomada futura. Após a redução do percentual de umidade o rejeito é retomado por carregadeira e transportado até a planta de beneficiamento, a uma distância de aproximadamente 1,5 km.

As pilhas de rejeito tornaram-se uma etapa intermediária entre a disposição final do rejeito das barragens e a recuperação deste material na planta de beneficiamento. Para o empilhamento do rejeito estão contemplados os dispositivos de drenagens superficiais e instalação de instrumentação de monitoramento composto por piezômetros e indicadores de nível d'água, de forma a controlar as condições de estabilidade geotécnica da pilha formada.

Para o controle de estabilidade das pilhas, são executados mensalmente inspeções em campo visualizando os dispositivos de drenagem, ensaios de caracterização e compactação, controle geométrico do empilhamento através de levantamento topográfico com marcação e conferência de *off-sets* e taludes, leituras dos instrumentos instalados (piezômetros e indicadores de nível d'água) e análise do fator de segurança

das pilhas. A ação de ventos nas pilhas de rejeito formadas é motivo de preocupação constante da empresa. Para minimizar a emissão a empresa faz uso de revegetação dos taludes.

De modo a aperfeiçoar as operações de manuseio do rejeito, desde a barragem, passando pelo empilhamento e por fim a alimentação da usina de beneficiamento adotou-se o procedimento operacional de carga e transporte do material conforme fluxograma descrito na Figura 9. O objetivo do procedimento é padronizar as operações de carga e transporte e realizar a disposição do rejeito de maneira que ele possa ser recuperado posteriormente.

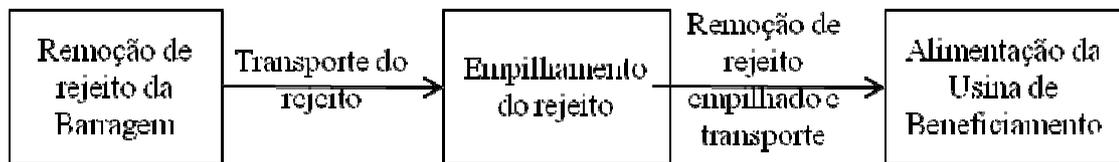


FIGURA 9: Fluxograma manuseio de rejeito.

3.2 PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DO REJEITO

O rejeito a ser depositado no alimentador passa por uma primeira classificação através de escalpes espaçados entre si de uma distância de 4 polegadas, que impedem que blocos superiores a esta dimensão entrem no alimentador. Após passar no alimentador o minério é direcionado até uma correia transportadora que o encaminha até uma peneira desbastadora de dois decks (o primeiro de 14 mm e o segundo de 3 mm). O *undersize* sob a forma de polpa é direcionado por meio de tubulação até a caixa de polpa e bombeado até os distribuidores que alimentam duas peneiras de proteção de malha de 1,2 mm para ser efetuada a classificação. O *oversize* das peneiras de proteção se junta com o *oversize* da peneira desbastadora e são depositados em uma pilha em separado. O *underflow* das peneiras de proteção é direcionado por meio de tubulação até os distribuidores dos separadores magnéticos de alta intensidade tipo carrossel. O

underflow da primeira peneira de proteção alimenta o primeiro separador magnético e o *underflow* da segunda peneira alimenta o segundo separador magnético.

A Figura 10 representa o fluxograma do processo de concentração magnética do rejeito com base em dados operacionais de uma usina em operação no Quadrilátero Ferrífero.

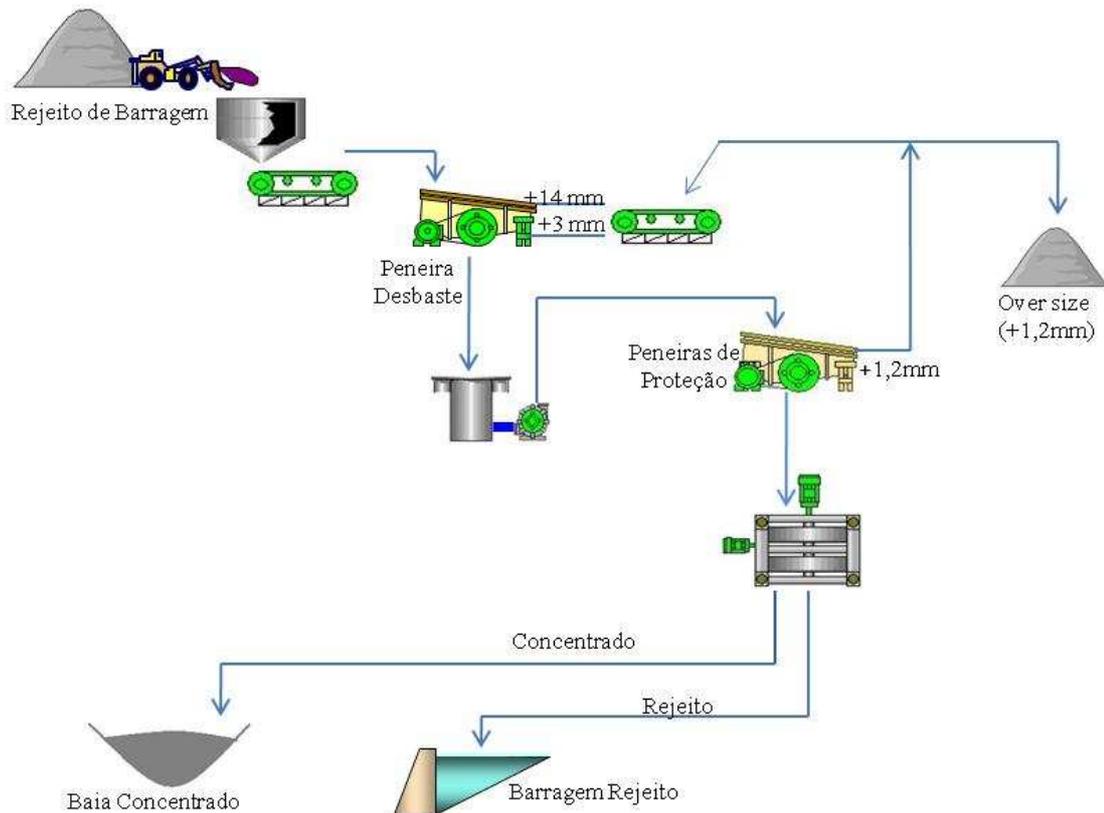


FIGURA 10: Fluxograma de concentração magnética aplicada ao rejeito de minério de ferro.

O separador magnético possui dois rotores e é constituído de um anel rotativo, também chamado de carrossel, que atravessa um campo magnético, onde são instaladas as matrizes ferromagnéticas. A alimentação é feita de modo que a polpa atravesse uma região com campo de alta intensidade. O material magnético é captado pela matriz, ou pelo menos é retardado o suficiente para ser carregado pelo movimento do anel rotativo a uma região de campo com baixa intensidade, onde as partículas magnéticas remanescentes na matriz são descarregadas por meio de um jato d'água, sendo o

material magnético recolhido num determinado ponto da calha coletora. A separação é obtida com seletividade, visto que se consegue controlar as variáveis operacionais como: taxa de alimentação, porcentagem de sólidos, intensidade do campo magnético, velocidade do rotor, velocidade da polpa, pressão da água de lavagem, de acordo com as variáveis de processo: teor de Fe e SiO₂, granulometria do material, teor de ferro no rejeito.

O concentrado é direcionado para bacias de decantação, a retomada é feita por meio de retro escavadeiras e carregadas por caminhões que transportam o concentrado até o pátio de estocagem, para posterior carregamento e transporte ferroviário. O rejeito é lançado na barragem.

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia e as premissas utilizadas para o estudo de viabilidade na recuperação de rejeito de minério de ferro através de concentração magnética.

O estudo em questão visa avaliar economicamente a recuperação do rejeito de minério de ferro, de forma a incluir todos os custos envolvidos com esta operação.

Desta maneira, a metodologia desenvolvida consistiu basicamente de três etapas, citadas a seguir.

- I. Análise química e granulométrica do rejeito e do concentrado de minério de ferro
- II. Análise dos custos envolvidos nesta operação
- III. Premissas utilizadas para cálculo de viabilidade.

Essas etapas encontram-se detalhadas nos subitens que se seguem.

4.1 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS DO REJEITO

Foram realizadas análises químicas quantitativas em amostras globais de pilhas de rejeito retirados da barragem, bem como por faixas granulométricas. Os elementos/compostos analisados foram Fe total, SiO₂, Al₂O₃, P, MN e PPC.

Para os testes de distribuição granulométrica foram utilizadas as peneiras de 1,4 mm em substituição às de 1,2 mm (o material abaixo de 1,2 mm é direcionado aos separadores magnéticos), pois o laboratório não dispunha das peneiras desta faixa granulométrica, entretanto isto não causou impacto nos resultados.

As análises granulométricas foram efetuadas em laboratório por peneiramento a úmido, em peneiras mecânicas suspensas, com aberturas em mm: 2,0 / 1,4 / 0,5 / 0,3 / 0,15 / 0,106 / 0,075 e passante.

Não foi realizada análise granuloquímica, pois o objetivo da pesquisa não foi definir rotas de processo para o material, visto que a rota já está definida como concentração magnética.

4.2 ANÁLISE DOS CUSTOS

Para avaliar as vantagens econômicas para as operações de remoção, transporte e beneficiamento de rejeito foram simulados orçamentos considerando todos os custos envolvidos nestas operações.

Os custos envolvidos no manuseio do rejeito referem-se às operações de remoção de rejeito das barragens, empilhamento do material com o objetivo de reduzir percentual de umidade, remoção do material empilhado e transporte até a planta. Além dos custos operacionais envolvidos no manuseio do rejeito existem também os custos relacionados aos controles de segurança e controles ambientais das pilhas de rejeito.

Além dos custos envolvidos no manuseio do rejeito estão presentes os custos com a operação da usina de beneficiamento e também os custos de manuseio do produto, fretes ferroviário e portuário.

Para todas as operações de carga e transporte, foram calculados os custos de manutenção e consumo de combustível. Desta maneira, os custos operacionais deste estudo estão baseados em:

- Custos com manutenção;
- Suprimentos para operacionalidade da usina e dos equipamentos móveis;
- Mão de obra direta envolvida;

- Serviços para controle de segurança e controle ambiental das pilhas de rejeito

Como condição básica todos os valores estão apresentados em Reais (R\$). Para fins de estudo toda a produção foi iniciada e concluída em um único período e consolidado em um período de um ano, não se considerando produtos inacabados ao final de um dado período.

As depreciações dos bens utilizados na produção não foram incorporadas ao custo do produto, pois foram tratados no estudo econômico de viabilidade.

4.3 PRECIFICAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO

Segundo levantamento realizado pela *index mundi* a média de preço para o minério de ferro em dezembro de 2013 foi de US\$ 135,79 a tonelada base seca de minério de ferro.

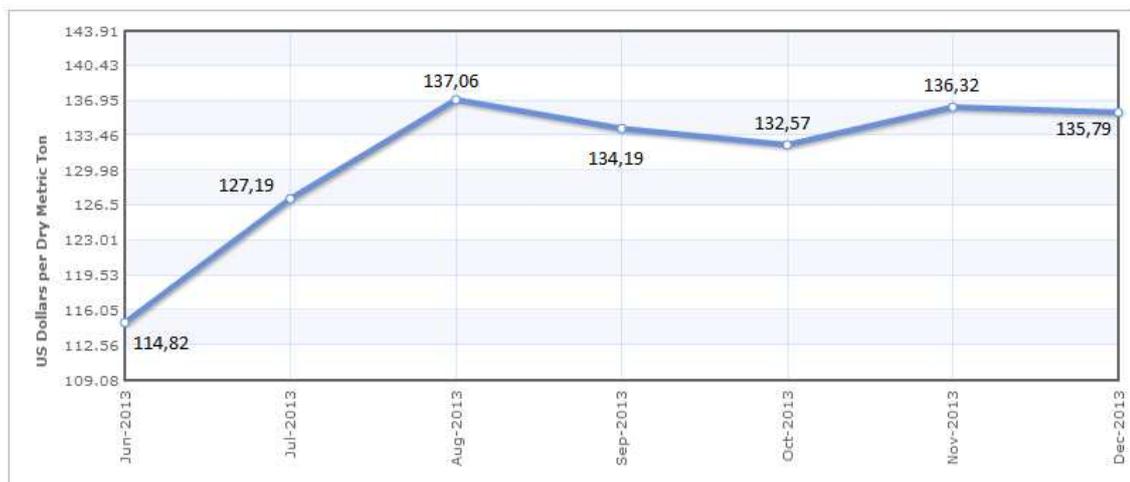


FIGURA 11: Iron Ore Monthly Price. (Fonte: Adaptado de *index mundi*)

Este levantamento é baseado na tabela Platts, que é um índice americano que tem por base o mercado à vista na China e leva em conta um teor básico de 62% de ferro no minério e retira do cálculo final o valor do frete. Desta maneira, utilizou para o cálculo do preço do minério de ferro a seguinte fórmula:

$$Preço Fe = \left[\left(\frac{Preço\ China}{62\%} \times \%Fe \right) \times (1 - Umidade) \right] + \{ [(Silica\ Máx - \% Si) \times Penalidade\ Silica] \times (1 - Umidade) \}$$

FIGURA 12: Fórmula utilizada para precificação do minério de ferro.

Deste valor encontrado exclui-se ainda o frete portuário.

Ainda segundo a *Platts*, a penalidade de sílica é o valor descontado (US\$ 2,50/t) para cada percentual de sílica acima de 4,5% Si

Segundo um relatório da consultoria (*Commodities Research Unit*) CRU, usado pelas empresas de mineração para análise futura de mercado do minério de ferro, espera-se um grande aumento da oferta de 2014 a 2017 provenientes dos grandes produtores e consolidação de minas de baixa qualidade e pequena escala. Aproximadamente 455 milhões de toneladas de aumento de capacidade no período. A desaceleração do consumo de aço e a taxa de crescimento da demanda por minério poderá gerar um mercado sobreofertado, dependendo da entrega de projetos em execução. Como consequência, a maior oferta de produtores de baixo custo deve provocar achatamento da curva de custos pressionando produtores chineses. Estima-se uma queda do custo marginal para US\$ 124/dmt (preço pago na China para um minério com 62%Fe) em 2015.

Com base no exposto, nas referências da Figura 11 e do relatório do CRU, adotou-se os seguintes valores para precificação do minério de ferro:

TABELA 4: Valores utilizados para precificação do minério de ferro.

	2014	2015	2016	2017
Preço do minério de ferro na China				
(US\$/t) - 62 %Fe:	135,79	124,00	124,00	124,00
Penalidade sílica (US\$/t)	2,50	2,50	2,50	2,50
Frete Portuário (US\$/t)*	25,00	25,00	25,00	25,00

*O valor do frete portuário (US\$ 25,00 / t) foi o valor utilizado baseado em práticas de mercado.

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através das amostragens de rejeito e de concentrado de minério de ferro assim como todos os custos envolvidos na operação de manuseio e transporte de rejeito e transporte de produto.

Também é analisado neste capítulo a viabilidade de instalação de uma usina de concentração magnética para beneficiamento de rejeito de minério de ferro, de acordo com as premissas de operações descritas neste estudo.

5.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO REJEITO E DO CONCENTRADO DE MINÉRIO DE FERRO

Foram realizadas análises químicas quantitativas em amostras globais de pilhas de rejeito retirados da barragem, bem como por faixas granulométricas. Os elementos/compostos analisados foram Fe total, SiO₂, Al₂O₃, P, MN e PPC. Pode-se perceber através dos resultados das três amostragens descritas na Tabela 5 que o teor de Fe na faixa abaixo de 1,4 mm é em média 41,39%.

TABELA 5: Análise química do rejeito de minério de ferro.

Amostra	Granulometria	Fe	SiO ₂	Al	P	Mn	PPC
	Global	41,63	36,70	1,75	-	0,16	2,22
Amostra 1	> 1,4 mm	60,76	6,35	2,90	-	0,20	3,91
	< 1,4 mm	44,62	33,20	0,52	-	0,19	2,63
	Global	40,01	39,04	1,66	-	0,21	2,14
Amostra 2	> 1,4 mm	61,44	5,62	2,58	-	0,20	3,35
	< 1,4 mm	39,88	39,35	1,18	-	0,19	1,80
	Global	40,68	37,88	1,57	-	0,14	2,13
Amostra 3	> 1,4 mm	61,66	5,88	2,98	-	0,15	3,15
	< 1,4 mm	39,67	39,50	1,15	-	0,09	2,13

Pode-se visualizar na distribuição granulométrica apresentada na Tabela 6 e nas Figuras 13, 14 e 15 que em média 99,5% do material encontra-se abaixo de 1,4 mm, o que resulta em uma massa mínima de *oversize* das peneiras de classificação e desbastadora. O material com granulometria acima de 1,4 mm, por possuir teor de ferro médio de 61,29% pode ser utilizado em uma planta de britagem primária e classificação para enriquecimento do teor da alimentação nova.

TABELA 6: Análise da distribuição granulométrica do rejeito.

Amostra	Malha (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
Amostra 1	2,0	30	0,4	0,4	99,6
	1,4	25	0,3	0,7	99,3
	0,500	160	2,0	2,7	97,3
	0,300	175	2,2	4,8	95,2
	0,150	570	7,0	11,9	88,1
	0,106	525	6,5	18,3	81,7
	0,075	600	7,4	25,8	74,2
	Passante	6010	74,2	100,0	0,0
	TOTAL(g)	8095			
Amostra 2	2,0	10	0,1	0,1	99,9
	1,4	10	0,1	0,2	99,8
	0,500	95	1,1	1,4	98,6
	0,300	85	1,0	2,4	97,6
	0,150	215	2,6	5,0	95,0
	0,106	210	2,5	7,5	92,5
	0,075	300	3,6	11,1	88,9
	Passante	7395	88,9	100,0	0,0
	TOTAL(g)	8320			
Amostra 3	2,0	25	0,3	0,3	99,7
	1,4	25	0,3	0,6	99,4
	0,500	460	5,4	6,0	94,0
	0,300	115	1,4	7,4	92,6
	0,150	110	1,3	8,7	91,3
	0,106	600	7,1	15,8	84,2
	0,075	770	9,1	24,9	75,1
	Passante	6360	75,1	100,0	0,0
	TOTAL(g)	8465			

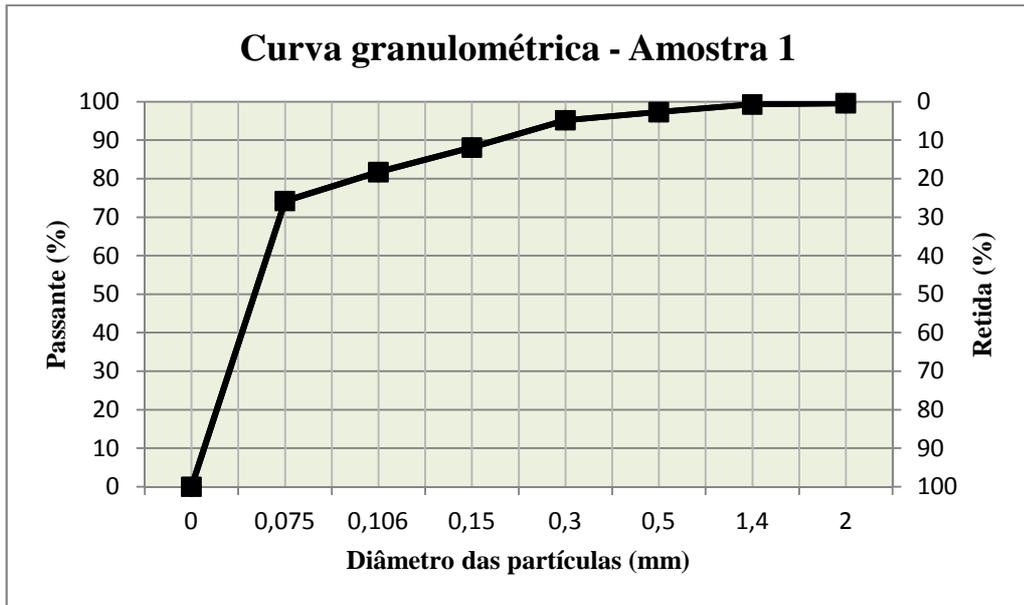


FIGURA 13: Distribuição granulométrica da amostra 1.

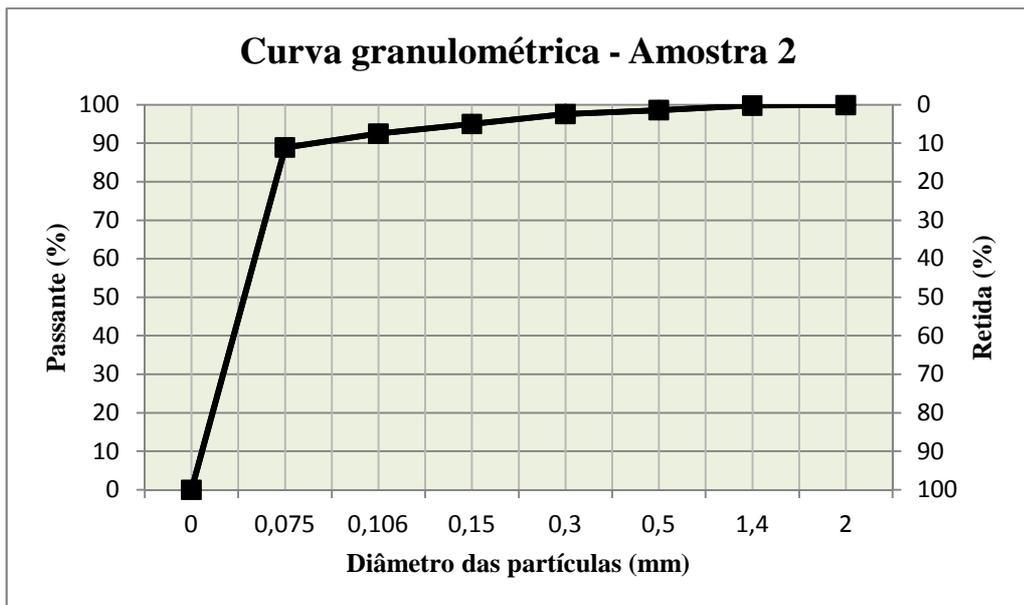


FIGURA 14: Distribuição granulométrica da amostra 2.

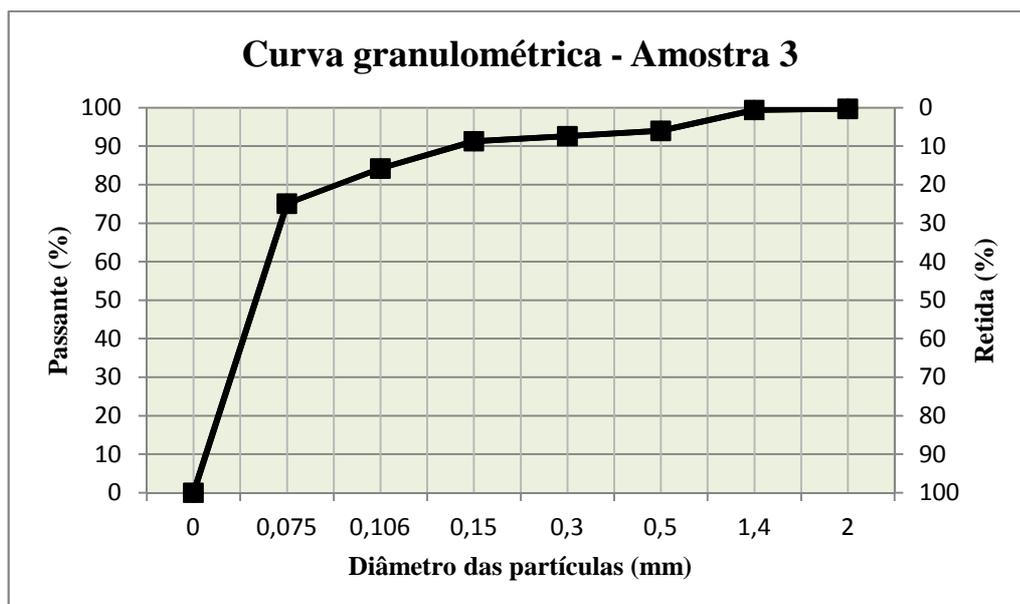


FIGURA 15: Distribuição granulométrica da amostra 3.

Em comparação com os trabalhos apresentados no item 2.5, o material analisado apresenta-se mais grosseiro e também mais rico aos materiais analisados nos trabalhos citados com exceção às amostras de rejeitos da mina de Barsua, Índia, que indicou a presença de 48,30% de Fe.

Após o processo de concentração magnética verificou-se que a recuperação em massa foi de 30% e a recuperação metalúrgica foi de 46,92%. O teor de Fe e SiO₂ no concentrado foi de 64,73% e 5,29% respectivamente.

A Tabela 7 mostra os resultados da concentração magnética

TABELA 7: Análise química do concentrado.

Amostra	Fe	SiO ₂	Al	P	Mn	PPC
Concentrado	64,73	5,29	0,55	0,03	0,12	1,20

5.2 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS

O planejamento da produção foi calculado para um período de um ano levando-se em consideração as premissas de rendimento operacional e taxa de alimentação conforme apresentado na Tabela 8.

TABELA 8: Planejamento da produção e dimensionamento da frota de equipamentos móveis.

Capacidade separador magnético [toneladas/hora]	220,00
Disponibilidade Física da Planta	85%
Utilização da Planta	90%
Rendimento Operacional da Planta	77%
Alimentação por separador magnético [toneladas/mês]	121.176,00
Alimentação Total [toneladas/mês] ¹	242.352,00
Alimentação Total [toneladas/ano]	2.908.224,00
Recuperação em Massa	30%
Volume Concentrado [toneladas/mês]	72.705,60
Volume Concentrado [toneladas base seca/ano]	872.467,20
Volume Concentrado [toneladas base úmida/ano] ²	959.713,92

¹Alimentação Total baseada na utilização de 2 separadores magnéticos.

²Umidade de 10% baseado em práticas de mercado.

Para o levantamento dos custos de operação foram utilizados os equipamentos móveis descritos abaixo:

- Caminhão Iveco Trakker 380T42;
- Escavadeira Hidráulica Komatsu PC350lc-8;
- Carregadeira de rodas 260 HP - WA470-6;
- Trator de esteiras Komatsu D61EX-15eo

Para o dimensionamento do quantitativo de equipamentos necessários para a operação foi utilizado uma produtividade média dos equipamentos levantadas em empresas do mercado assim como os índices operacionais, como utilização desses equipamentos e disponibilidade física, conforme demonstrado na Tabela 9.

TABELA 9: Índices operacionais utilizados para dimensionamento dos equipamentos necessários à operação de movimentação de rejeito.

Equipamento	Produtividade		Utilização
	dos Equipamentos [toneladas/hora]	Disponibilidade Física	
Escavadeira Hidráulica Komatsu PC350LC-8	450	65%	70%
Caminhão Iveco Trakker 380T42	100	70%	75%
Carregadeira de Rodas 260 HP - WA470-6	650	65%	70%
Trator de Esteiras Komatsu D61EX-15EO	750	65%	80%

Os equipamentos foram dimensionados por frente de serviço conforme fluxograma apresentado no Capítulo 3.

Para o cálculo das horas em operação foram multiplicados o total de horas no ano (365 dias por 24 horas) pelos índices de utilização e disponibilidade física. Desta maneira, dividindo-se a produtividade dos equipamentos pelo total de horas em operação encontra-se a capacidade total de movimentação por equipamento. Dividindo-se o volume necessário a ser movimentado pela capacidade de cada equipamento é possível encontrar o número de equipamentos necessários por frente.

Conforme a Tabela 10 serão necessários 23 equipamentos móveis, sendo 16 Caminhões Iveco Trakker 380T42, 3 Escavadeiras Hidráulica Komatsu PC350lc-8, 3 Carregadeiras de rodas 260 HP - WA470-6 e 1 Trator de esteiras Komatsu D61EX-15EO.

TABELA 10: Número de equipamentos necessários.

Operação (frente de serviço)	Equipamento	Volume movimentado [toneladas]	Horas em operação/ano	Número de Equipamentos Necessários
Remoção de rejeito da barragem	Escavadeira Hidráulica Komatsu PC350LC-8	2.908.224,00	7.971,6	2
Transporte de rejeito da Barragem até o empilhamento	Caminhão Iveco Trakker 380T42	2.908.224,00	32.193	7
Carregamento de rejeito das pilhas	Carregadeira de Rodas 260 HP - WA470-6	2.908.224,00	7.971,6	2
Transporte de rejeito empilhado até a planta de beneficiamento	Caminhão Iveco Trakker 380T42	2.908.224,00	32.193	7
Alimentação da planta de beneficiamento	Carregadeira de Rodas 260 HP - WA470-6	2.908.224,00	4.555,2	1
Carregamento do produto	Escavadeira Hidráulica Komatsu PC350LC-8	872.467,20	3.985,8	1
Transporte do produto para área de carregamento ferroviário	Caminhão Iveco Trakker 380T42	872.467,20	9.198	2
Serviço de Infraestrutura	Trator de Esteiras Komatsu D61EX-15EO	2.908.224,00	4.555,2	1
	Total		102.623,4	23

5.3 ANÁLISE DOS CUSTOS

5.3.1 Custos com mão de obra direta

Para estimativa de mão de obra direta foi utilizado como premissa o regime de trabalho de turno, sendo 4 turnos de 6 horas trabalhadas por dia, o que exige 5 equipes para operação. Para algumas empresas que adotam regime de turno, é prática comum contratar um número de operadores, além daqueles necessários com relação ao número de equipamentos, para substituir operadores que estão em regime de férias. Esses operadores são designados na indústria como “feristas”, e também foram dimensionados no cálculo de mão de obra. Adotou-se o regime de trabalho de 8 horas diárias, com 1 hora de almoço (definido neste estudo como regime administrativo). O efetivo total estimado é de 159 pessoas, sendo assim distribuídas conforme apresentado na Tabela 11.

TABELA 11: Dimensionamento de mão de obra.

Cargo	Quantitativo			Total
	Administrativo	Turno	Ferista	
Coordenador de Produção	1	0	0	1
Engenheiro de Produção	1	0	0	1
Supervisor de Operação	0	1	0	5
Técnico de Produção	1	1	0	6
Operador de Equipamentos II	0	7	1	36
Operador de Equipamentos I	0	16	1	81
Operador de Beneficiamento II	0	1	0	5
Operador de Beneficiamento I	0	2	0	10
Eletricista F/C	1	0	0	1
Lubrificador	1	0	0	1
Soldador	1	1	1	7
Técnico Mecânico	0	1	0	5
Total	6	30	3	159

O cargo Operador de Equipamentos II refere-se ao operador das máquinas carregadeiras, escavadeiras e trator e o cargo Operador de Equipamentos I refere-se aos operadores de caminhões. Conforme quantitativo apresentado na Tabela 11 descrita acima, o custo estimado com mão de obra será de R\$ 6.270.000,00 conforme demonstrado na Tabela 12 que contém o descritivo dos salários e encargos.

TABELA 12: Custo estimado com mão de obra.

Cargo	Quantitativo	Remuneração(R\$)	Encargos	Custo Total (R\$)
	Total	(Mensal)	(Mensal) ¹	(Mensal)
Coordenador de Produção	1	9.000,00	2,50	22.500,00
Engenheiro de Produção	1	6.600,00	2,50	16.500,00
Supervisor de Operação	5	3.000,00	2,50	37.500,00
Técnico de Produção	6	1.400,00	2,50	21.000,00
Operador de Equipamentos II	36	1.300,00	2,50	117.000,00
Operador de Equipamentos I	81	1.100,00	2,50	222.750,00
Operador de Beneficiamento II	5	1.300,00	2,50	16.250,00
Operador de Beneficiamento I	10	1.100,00	2,50	27.500,00
Eletricista F/C	1	1.300,00	2,50	3.250,00
Lubrificador	1	1.100,00	2,50	2.750,00
Soldador	7	1.100,00	2,50	19.250,00
Técnico Mecânico	5	1.300,00	2,50	16.250,00
Total	159	29.600,00	2,50	522.500,00
		Total Custo Anual		6.270.000,00

¹ Fator de multiplicação ao salário base

Dentro do fator de 2,5 de encargos sobre o salário base, estão considerados: previdência social, salário educação, seguro acidente de trabalho, alimentação, indenizações, transporte de pessoal e vale transporte, aviso prévio, FGTS, FGTS Multa, bonificação de férias legal, férias, abono pecuniário, SESI, SENAI e SEBRAE, 13º salário provisão, encargos sobre honorários.

5.3.2 Custos com manutenção

Os custos de manutenção foram divididos entre a operação de manuseio e transporte de rejeito e concentrado e os custos de manutenção referentes à usina de beneficiamento.

Os custos de serviço de manutenção da usina de beneficiamento foram calculados utilizando-se como premissas os itens:

- Manutenção preditiva;
- Manutenção eletromecânica;
- Manutenção e monitoramento de correias transportadoras,
- Serviço de pintura;
- Manutenção de equipamentos vibratórios

Os custos de materiais de manutenção da usina foram calculados baseados nos componentes dos equipamentos que fazem parte do processo de beneficiamento, conforme lista abaixo:

- Correias transportadoras;
- Tubulações;
- Peças metálicas (chapas, tubos, barras, etc.);
- Sobressalentes para bombas de polpa (rotor, revestimento, luvas, etc.);
- Rolamentos e demais acessórios (buchas, mancais, etc.);
- Peças de desgaste (chapas, revestimentos, etc.);
- Materiais elétricos (disjuntores, contadores, relés, etc.);

- Materiais de fixação (parafusos, porcas, ganchos, etc.);
- Peças para separador magnético (pacotes, cunhas, sistema lavagem);
- Outros materiais (discos de cortes, desengraxantes, etc.).

De acordo com o levantamento dos itens descritos acima, o custo total com manutenção da usina é de R\$ 1.294.116, sendo composto por R\$ 721.583,33 referentes à serviços de manutenção (mão de obra e apoio à mão de obra) conforme TABELA 13 e R\$ 572.533,11 referentes à materiais de manutenção (sobressalentes, insumos, etc.) conforme TABELA 14.

TABELA 13: Custos com serviços de manutenção da usina.

Serviços de Manutenção	
Manutenção eletromecânica	R\$ 227.500,00
Manutenção de automação	R\$ 58.333,33
Manutenção equipamentos oficina	R\$ 56.000,00
Monitoramento correias transportadoras	R\$ 102.083,33
Tagueamento	R\$ 32.666,67
Assistência técnica de equipamentos vibratório	R\$ 105.000,00
Manutenção preditiva	R\$ 140.000,00
Total	R\$ 721.583,33

TABELA 14: Custos com materiais de manutenção da usina.

Materiais de Manutenção	
Telas de peneiras e demais acessórios (longarinas, travessas, etc.)	R\$ 12.300,00
Correias transportadoras	R\$ 8.610,00
Tubulações	R\$ 24.600,00
Peças metálicas (chapas, tubos, cantoneiras, barras, etc.)	R\$ 102.500,00
Sobressalentes para bombas de polpa (rotor, revestimento, luvas, e tc.)	R\$ 98.400,00
Sobressalentes para bombas de água (rotor, difusor, luvas, etc.)	R\$ 18.450,00
Rolamentos e demais acessórios (buchas, mancais, etc.)	R\$ 61.500,00
Peças de desgastes (chapas, revestimentos, etc.)	R\$ 61.500,00
Peças e acessórios para TC's (roletes, cavaletes, guias laterais, etc.)	R\$ 6.150,00
Gases industriais (oxigênio, acetileno, etc.)	R\$ 61.500,00
Materiais elétricos (disjuntores, contadores, relés, etc.)	R\$ 30.750,00
Materiais de fixação (parafusos, porcas, ganchos, etc.)	R\$ 20.500,00
Peças para separador magnético (pacotes, cunhas, sistema lavagem)	R\$ 4.273,11
Outros materiais (discos de corte, desengraxantes, etc.)	R\$ 61.500,00
Total	R\$ 572.533,11

Para o levantamento dos custos de manutenção de cada equipamento móvel utilizou-se como premissa os serviços de manutenção (baseado em mão de obra) e os custos com materiais como pneus, lubrificantes e sobressalentes. O custo total estimado é de R\$3,506.500, conforme Tabela 15.

TABELA 15: Custos de manutenção dos equipamentos móveis.

Equipamento	Custos de Manutenção	
	Total Anual	
Escavadeira Hidráulica		
Komatsu PC350LC-8	R\$	336.399,78
Carregadeira de Rodas 260 HP		
- WA470-6	R\$	686.551,97
Caminhão Iveco Trakker		
380T42	R\$	2.396.795,64
Trator de Esteiras Komatsu		
D61EX-15EO	R\$	86.752,54
Total	R\$	3.506.500

Desta maneira, o custo total de manutenção é de R\$ 4.800.616,00.

Para estimativa dos custos de manutenção dos equipamentos móveis e da usina foram utilizados valores de referência de empresas do mercado e também dados de fabricantes.

5.3.3 Custos com suprimentos para operacionalidade da planta e dos equipamentos móveis

O levantamento do consumo de combustível foi baseado nas horas em operação dos equipamentos, para este cálculo utilizou-se os índices operacionais descritos na Tabela 9.

O consumo de combustível por hora de operação é fornecido pelo fabricante, conforme Tabela 16.

TABELA 16: Consumo de combustível médio dos equipamentos móveis.

EQUIPAMENTO	CONSUMO COMBUSTÍVEL [litros/hora] ¹
Caminhão Iveco Trakker 380T42	9
Escavadeira Hidráulica Komatsu PC350LC-8	18,9
Carregadeiras de Rodas 260 HP - WA470-6	17,4
Trator de esteiras Komatsu D61EX-15EO	16,1

¹Valores de referência de empresas do mercado

Utilizou-se como premissa o custo de diesel de R\$ 2,00 / litro. A Tabela 17 detalha os custos por equipamento, considerando-se o total de horas operadas/ano, o consumo de diesel/ano. O custo total com combustível é de R\$ 2.359.111,80.

TABELA 17: Levantamento dos custos com consumo de combustível.

Equipamento	Total de Horas em operação/ano	Consumo Diesel/ano	Custo com diesel/ano [R\$]
Escavadeira Hidráulica			
Komatsu PC350LC-8	7.971,60	150.663,24	301.326,48
Caminhão Iveco Trakker			
380T42	32.193,00	289.737,00	579.474,00
Carregadeira de Rodas 260			
HP - WA470-6	7.971,60	138.705,84	277.411,68
Caminhão Iveco Trakker			
380T42	32.193,00	289.737,00	579.474,00
Carregadeira de Rodas 260			
HP - WA470-6	4.555,20	79.260,48	158.520,96
Escavadeira Hidráulica			
Komatsu PC350LC-8	3.985,80	75.331,62	150.663,24
Caminhão Iveco Trakker			
380T42	9.198,00	82.782,00	165.564,00
Trator de Esteiras Komatsu			
D61EX-15EO	4.555,20	73.338,72	146.677,44
Total			2.359.111,80

Já o consumo de combustível e lubrificantes da usina de beneficiamento foi estimado em R\$ 195.616,00.

Para o custo com energia elétrica foram utilizados os valores de consumo baseado em plantas de concentração magnética, resultando em R\$ 1.022.653,00 para uma produção de 872.467,20 toneladas de concentrado.

Desta maneira, o custo total com suprimentos é de R\$3.577.381,00.

5.3.4 Custos com controle de segurança e estabilidade das pilhas de rejeito

Para o controle de estabilidade das pilhas de rejeito podem ser dimensionados equipamentos de medidores de nível d'água (INA) e piezômetros, apresentando um custo médio anual de R\$ 165.470,00

Para o controle ambiental de emissão de particulados, também foi estimado um gasto anual com plantio de grama nas pilhas de rejeito, estimando para esse gasto um custo de R\$ 200.000,00.

5.3.5 Custos com frete ferroviário e serviço portuário

Para o cálculo dos custos com frete ferroviário foi utilizado como premissas o valor de R\$ 19,16 / toneladas para uma distância de 370 km.

Para uma produção anual de 959.713,92 toneladas de concentrado (base úmida) o custo total com frete é de R\$ 18.388.119,00.

5.3.6 Consolidação dos custos de operação

Através dos custos de operação estimados e descritos acima é possível calcular o custo por tonelada de concentrado produzido anualmente.

Na Tabela 18 estão consolidados os custos de operação.

TABELA 18: Consolidação dos custos.

Descrição dos custos	Custo Anual [R\$]
Mão de Obra	R\$ 6.270.000,00
Manutenção	R\$ 4.800.616,00
Suprimentos	R\$ 3.577.381,00
Controle ambiental e de estabilidade das pilhas de rejeito	R\$ 365.470,00
Frete Ferroviário	R\$ 18.388.119,00
Total	R\$ 33.401.586,00

Com um custo anual de R\$ 33.401.586 e uma produção anual de 959.713,92 toneladas, o custo estimado por tonelada neste estudo é de R\$ 34,80.

Ressalta-se que neste estudo não estão incluídos os custos com serviços necessários para apoio administrativos como transporte coletivo de pessoas, telefonia móvel, transporte de pessoal com motorista, lavanderia e higienização e limpeza predial, assim como serviços necessários para a área de saúde e segurança do trabalho. Assim como também não foram contemplados os gastos com segurança patrimonial e bombeiros. Todos os custos citados acima já estão incorporados nos custos da empresa, visto que este estudo foi desenvolvido com base em uma empresa em operação.

5.4 INVESTIMENTO EM CAPITAL

O investimento inicial para implantar o projeto será de aproximadamente R\$ 57.003.427,51. Sendo que 39,92% são referentes à aquisição de equipamentos, conforme detalhado nas Tabelas 19 e 20. Para estimativa do preço dos equipamentos foi utilizado base de dados de projetos similares e cotações com fornecedores feitas também para projetos similares.

TABELA 19: Relação de investimento em equipamentos de usina.

Investimento em Equipamentos de Usina	Quantidade	Custo Total (R\$)
Separadores Magnéticos	2	6.977.404,00
Peneiras de Proteção	4	2.987.760,00
Alimentador de Correia	1	197.998,50
Peneira Vibratória Horizontal	1	309.717,80
Transportador de Correia	1	309.270,38
Caixas de Polpa	1	81.168,91
Distribuidores de Polpa	2	76.627,99
Bomba de Polpa	2	553.324,44
Bomba de Água	2	540.120,86
Investimento Total em Equipamentos de Usina		12.033.392,88

TABELA 20: Relação de investimento em equipamentos móveis.

Investimento em Equipamentos Móveis	Quantidade	Custo Total (R\$)
Caminhão Iveco Trakker 380T42	16	4.838.400,00
Escavadeira Hidráulica Komatsu PC350LC-8	3	2.515.200,00
Carregadeira de Rodas 260 HP - WA470-6	3	2.400.000,00
Trator de Esteiras Komatsu D61EX-15EO	1	967.547,20
Investimento Total em Equipamentos Móveis		10.721.147,20

Demais investimentos necessários para implantação do projeto, equivalentes a 60,08% do investimento inicial, foram estimados com base em referências de mercados e são detalhados na Tabela 21.

TABELA 21: Relação de investimentos para implantação do projeto.

Demais Investimentos Necessários	Custo (R\$)
Arquitetura	388.921,59
Automação	1.666.806,83
Civil	8.334.034,13
Elétrica	3.333.613,65
Engenharia	1.111.204,55
Hidro-Sanitário	166.680,68
Metálica	1.468.353,20
Montagem	10.000.840,95
Terraplenagem	2.222.409,10
Tubulação	2.222.409,10
Engenharia	1.111.204,55
Meio Ambiente	277.801,14
Seguro	138.900,57
Pré-Operacional	1.389.005,69
<i>Owner Cost</i>	416.701,71
Total	34.248.887,43

De forma resumida são apresentados no ANEXO I as entradas e saídas do investimento em estudo.

O preço calculado para o minério de ferro no porto segundo fórmula apresentada na Figura 12 está detalhado no ANEXO II.

Foi analisado o fluxo de caixa global do projeto para um período de 4 anos, o qual corresponde ao período de depreciação dos equipamentos móveis. Ou seja, nesta análise, não foram previstos investimentos em troca de equipamentos.

A receita operacional é calculada multiplicando-se o preço de exportação calculado conforme fórmula da Figura 12 e apresentado no ANEXO II, pela taxa de câmbio e pela produção total base úmida.

Conforme ANEXO I a receita operacional é maior no primeiro ano, devido ao maior preço do minério de ferro, conforme descrito no item 3.6. Nos anos subsequentes, esta receita operacional é alterada apenas pela variação na taxa de câmbio apresentada na Tabela 22, uma vez que, para esta análise o volume de produção também foi mantido constante.

TABELA 22: Variação da taxa de câmbio.

	2014	2015	2016	2017
Taxa de Cambio (US\$ 1 em R\$)	2,40	2,43	2,46	2,50

Fonte: (Série de estatísticas consolidadas – Banco Central do Brasil, período no qual foram feitas as projeções de média anual: 23/12/2013 à 27/12/2013).

Utilizando o método do *Payback* descontado, descontam-se de todos os elementos do fluxo de caixa o custo de capital definido em 10% a.a. (com base em referência de mercado), trazendo a valor presente, na data zero. Adiciona-se uma linha de valores presentes dos fluxos de caixa do projeto. Na Tabela 23, calcula-se o valor acumulado (saldo).

TABELA 23: Cálculo do Valor Presente Líquido e Valor Acumulado.

	2014	2015	2016	2017
(=) Fluxo de Caixa				
Global	R\$ 137.379.288	R\$ 122.243.517	R\$ 123.948.720	R\$ 126.222.324
Valor Presente (VPL)	R\$ 67.886.834	R\$ 168.914.534	R\$ 262.039.042	R\$ 348.250.588
Valor acumulado	R\$ 10.883.407	R\$ 179.797.941	R\$ 441.836.983	R\$ 790.087.570

Pode-se observar que, já no primeiro ano, o saldo acumulado do projeto é positivo, o que significa que ele atende à empresa. Através de uma regra de três simples, constatamos

que o período de recuperação do projeto (pagamento do investimento inicial) é igual a onze meses, o que significa que entre o décimo o décimo primeiro mês inicial do projeto, à taxa de juros escolhida, o saldo se torna positivo, ou seja o projeto já se paga.

Este método de análise é bastante similar ao valor presente líquido. O valor acumulado ao final do quarto ano, atualizado para a data zero, é o próprio VPL do projeto. Ou seja, o investimento de R\$ 57.003.428 será remunerado a 10% a.a. durante 4 anos. E, adicionalmente à implementação do projeto, ao final do 4 anos, terá gerado um lucro R\$ 348.250.588

A taxa interna de retorno do projeto (TIR) é igual a 232% a.a., ou seja, é viável implementar o projeto, desde que o custo do capital do projeto seja menor do que 232% a.a., uma taxa bem maior do que a inicial estimada em 10% a.a.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar deste assunto ser escasso na literatura, há um grande número de antigas barragens de rejeito de minério de ferro localizadas no Quadrilátero Ferrífero, e que, em geral, possuem um alto teor de ferro.

Este estudo demonstrou a viabilidade técnica do procedimento operacional sugerido para manuseio do rejeito. Este procedimento inclui o método de remoção de rejeito da barragem, uma fase intermediária para empilhamento de rejeito com o objetivo de reduzir o percentual de umidade e conseqüentemente aumento da eficiência do peneiramento, assim como todos os métodos para controle de segurança do empilhamento e controle ambiental.

A análise econômica da implantação de um sistema de recuperação de rejeito para uma mina em operação e com barragem(s) de rejeitos dentro das características apresentadas neste estudo de caso, mostrou-se viável para o período analisado e para o investimento necessário.

Com base nos dados apresentados no Capítulo 5, este estudo demonstra que, segundo os métodos de análise de viabilidade apresentados (VPL, TIR e *Payback* descontado) o investimento se paga em 11 meses (para um período de 4 anos de análise) tornando-se assim viável.

Portanto, a análise econômica da implantação de um sistema de recuperação de rejeito para uma mina em operação e com barragem(s) de rejeitos dentro das características apresentadas neste estudo de caso, mostrou-se viável para o período analisado e para o investimento necessário.

Além dos resultados positivos em termos de produção, a recuperação de rejeito pode aumentar a vida útil dos reservatórios das barragens de rejeito e reduzir a pressão por uso de terra, além do desenvolvimento sustentável que essa operação apresenta.

CAPÍTULO 7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo não esgota o assunto. Por outro lado, chama a atenção para diversos desafios que as empresas produtoras de minério de ferro devem enfrentar para minimizar o lançamento de rejeitos em barragens de rejeitos e maximizar o aproveitamento do minério de ferro pela recuperação de ferro em rejeitos. Desta forma, este estudo recomenda que trabalhos futuros sejam desenvolvidos com vistas a:

1. avaliar técnica e economicamente a viabilidade de se adotar processos de filtragem do rejeito para que este seja diretamente empilhado ao invés de ser lançado nas barragens, evitando assim o custo de remoção de material das barragens e facilitando as etapas de manuseio do rejeito e concentração do ferro nele contido.
2. desenvolver outras rotas de processos para rejeitos com características similares aos do estudo de caso.
3. desenvolver outras rotas de processo para recuperação de ferro em rejeitos finos, abaixo de 0,045 mm.
4. caracterização/definição legal das barragens de rejeito para fins de aproveitamento econômico.
5. desenvolver estudo/alternativas para eliminação das pilhas intermediárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAKA, E. O. Recovering fine iron minerals from Itakpe iron ore process tailing. **ARN Journal of Engineering and Applied Sciences**. Akure, Nigeria, v. 4, n. 9, p. 17-28, nov. 2009.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006, 133 p. (Dissertação de Mestrado).

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Série de estatísticas consolidadas. Disponível em: < <https://www3.bcb.gov.br/expectativas/publico/?wicket:interface=:11:::> >. Acesso em: 28 dez 2013.

BASTOS JUNIOR, G. M. **Controle de processos na concentração de minérios de ferro**. Ouro Preto: Monografia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2010, 78 p.

BORDEAUX-RÊGO, R. et al. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 3. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010. 164 p.

BORGES, A. A. et al. Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito Ouro Preto, **REM - Revista Escola de Minas**, v. 61, n.1, p.29-34, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM), Sumário Mineral 2012. Brasília, 2012, v.32, 136 p. Disponível em: < https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7366 > . Acesso em: 05 abr 2013.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 108 p. (Dissertação de Mestrado).

ESPOSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. Brasília, DF: Departamento de

Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2000, 363 p. (Tese de Doutorado).

FERNANDES, E. A.; SANTOS, H. I. **Análise da operação da barragem de rejeitos da Mineração Serra Grande S.A., Município de Crixás, Goiás.** Goiânia, 2008. Disponível em: < http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/AN%C3%81LISE%20DA%20OPERA%C3%87%C3%83O%20DA%20BARRAGEM%20DE%20REJEITOS%20DA%20MINERA%C3%87%C3%83O%20SERRA%20GRANDE%20S_A_%20MUNICIPIO%20DE%20CRIX%C3%81S.pdf >. Acesso em: 06 set. 2013.

FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. **Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração.** Centro de Tecnologia Mineral, 4. ed., p. 817-852, Rio de Janeiro, 2004.

FIGUEIREDO, M. M., **Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a Mineração Casa de Pedra – Congonhas/MG.** Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2007, 100 p. (Dissertação de Mestrado).

GHOSE, M. K.; SEN, P. K. Recovery of usable ore fines from iron ore tailings and their environmental management – a case study. **Land Contamination & Reclamation**, v. 7, n. 2, p. 143-149, 1999. Disponível em: < <http://www.epppublications.com/home/land-contamination-reclamation/volume-7> >. Acesso em: 02 jun. 2013.

GOMES, J. **Recuperação de Rejeitos da Barragem.** In: Prêmio de Excelência da Indústria Mínero-Metalúrgica Brasileira Revista Minerios & Minerales, 14., 2012, Belo Horizonte. Anais.CD-ROM.

GOMES, M. A. **Caracterização tecnológica no aproveitamento de rejeito de minérios de ferro.** Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009, 88 p. (Dissertação de Mestrado).

GOMES, M. A. et al. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. **REM – Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n.2, p. 233-236, abr. jun. 2011.

GUIMARAES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minérios de ferro visando a sua disposição em pilhas.** Belo Horizonte: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgicas e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 110 p. (Dissertação de Mestrado).

HERNANDES, H. M. **Ensaio de simulação de deposição hidráulica (ESDH) para a Caracterização de rejeitos utilizados em barragens de aterro hidráulico**. Brasília, DF: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2007, 186 p. (Tese de Doutorado).

index mundi. Iron ore monthly price. Disponível em: < <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore> >. Acesso em: 02 jan 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM), Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira. Brasília, 2012, 68 p. Disponível em: < <http://www.ibram.org.br/> > . Acesso em: 06 abr 2013.

LIMA, L. M. K. **Retroanálise da formação de um depósito de rejeitos finos de mineração construído pelo método subaéreo**. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2006, 90 p. (Dissertação de Mestrado).

LOPES, G. M. **Flotação direta de minério de ferro**. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009, 125 p. (Dissertação de Mestrado).

LUZ, A. B.; LINZ, F. A. F. Introdução ao tratamento de minérios. Centro de Tecnologia Mineral, 4. ed., p. 3-16, Rio de Janeiro, 2004.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de minérios. Centro de Tecnologia Mineral, 4. ed., Rio de Janeiro, 2004, 837 p.

MENDES, M. B. **Comportamento Geotécnico de uma barragem de rejeito de minério de ferro alteada para montante**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007, 189 p. (Dissertação de Mestrado).

MILONAS, J. G. **Análise do processo de reconstituição de amostras para caracterização do comportamento de barragens de rejeitos de minério de ferro em aterro hidráulico**. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2006, 146 p. (Dissertação de Mestrado).

MIRANDA, I. S. **Diretrizes fundamentais para um estudo de avaliação econômica de empreendimentos de mineração: um estudo bibliográfico.** Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2011, 275p. (Dissertação de Mestrado).

PENNA, L. R. **Estudo da construção de aterros em depósitos estratificados de rejeitos de mineração.** Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008, 170 p. (Dissertação de Mestrado).

PEREIRA, E. L. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático.** Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005, 185 p. (Dissertação de Mestrado).

PEREIRA, W. C.; SUSLICK, S. B. Modelo de previsão do custo de mineração pelo sistema de curvas de aprendizado. **REM – Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 56, n.2, p. 139-143, abr. jun. 2013.

PIMENTA DE ÁVILA, J. The drained stacking of granular tailings: a disposal method for a low degree of saturation of the tailings mass. **Proceedins Tailings and Mine Waste**, Vancouver, BC, 2011, 11p.

PIRES, J. M. M. et al. Potencial poluidor de resíduo sólido da SAMARCO Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 393-397, 2003.

PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta.** Belo Horizonte: Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013, 154 p. (Dissertação de Mestrado).

QUISPE, L. M. C. **Consolidação de um rejeito de mineração de areia e modelação do enchimento de um reservatório para sua disposição.** São Carlos: Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011, 76 p. (Dissertação de Mestrado).

REIS, E. L. **Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico-carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina.**

Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005, 124 p. (Dissertação de Mestrado).

RIBEIRO, L. F. M. **Simulação do processo de formação dos aterros hidráulicos aplicado a barragens de rejeitos**. Brasília, DF: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2000, 235 p. (Tese de Doutorado).

ROCHA, L.; PERES, A. E. C. Aproveitamento econômico das lamas de ferro. **REM – Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 62, n.3, p. 291-295, jul. set. 2009.

SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. Separação Magnética e Eletrostática. Centro de Tecnologia Mineral, 4. ed., p. 305-335, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, M. B.; LUZ, J. A. M. Magnetic scavenging of ultrafine hematite from itabirites.. **REM – Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 66, n.4, p. 499-505, out. dez. 2013.

SOUZA, N. **Análise crítica de rotas de processamento de minérios de ferro itabiríticos**. Rio de Janeiro: Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Metaúrgica), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010, 127 p.

VIEIRA, M. G. **Produção de um *pellet feed* a partir da concentração de rejeito de flotação mecânica da SAMARCO**. Belo Horizonte: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 62 p. (Dissertação de Mestrado).

WANG, P.; DONG, F. Research on preparation of iron concentrate from iron tailings. [S.1]. Disponível em: <http://www.seiofbluemountain.com/upload/product/201010/2010dthy02a6.pdf>
Acesso em: 25 mar 2013.

WELLMWE, F. et al. **Economic Evaluations in Explorations**. 2ed. Berlim, 2008, 250 p.

WOLFF, A. P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale**. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009, 90p. (Dissertação de Mestrado).

ZHANG, S. et al. Current situation and comprehensive utilization of iron ore tailing resources. **Journal of Mining Science**, v. 42, n.4, p. 403-408, jul. 2006.

ANEXO I

Demonstração do Resultado do Exercício (DRE)	2014	2015	2016	2017
(+) Receita Operacional Bruta	R\$ 232.207.910,79	R\$ 209.274.924,68	R\$ 211.858.565,73	R\$ 215.303.420,46
(-) Imposto sobre vendas	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ 232.207.910,79	R\$ 209.274.924,68	R\$ 211.858.565,73	R\$ 215.303.420,46
(-) Custos dos produtos ou serviços vendidos	R\$ 33.401.585,76	R\$ 33.401.585,76	R\$ 33.401.585,76	R\$ 33.401.585,76
Custos Operacionais	R\$ 15,64	R\$ 15,64	R\$ 15,64	R\$ 15,64
Frete Ferroviário	R\$ 8,20	R\$ 8,20	R\$ 8,20	R\$ 8,20
Serviços Portuários	R\$ 10,96	R\$ 10,96	R\$ 10,96	R\$ 10,96
Demurrage	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
(=) Lucro Operacional Bruto	R\$ 198.806.325,03	R\$ 175.873.338,92	R\$ 178.456.979,97	R\$ 181.901.834,69
(-) Despesas Administrativas				
(-) Despesas Comerciais				
(-) Despesas Gerais				
(=) Lucro Operacional - EBITDA	R\$ 198.806.325,03	R\$ 175.873.338,92	R\$ 178.456.979,97	R\$ 181.901.834,69
Margem EBITDA (%)	R\$ 0,86	R\$ 0,84	R\$ 0,84	R\$ 0,84
(-) Depreciação	R\$ 18.138.568,42	R\$ 18.138.568,42	R\$ 18.138.568,42	R\$ 18.138.568,42
(=) Lucro antes IR - LAIR	R\$ 180.667.756,60	R\$ 157.734.770,50	R\$ 160.318.411,54	R\$ 163.763.266,27
(-) IR (34%)	R\$ 61.427.037,25	R\$ 53.629.821,97	R\$ 54.508.259,92	R\$ 55.679.510,53
(=) Lucro Líquido	R\$ 119.240.719,36	R\$ 104.104.948,53	R\$ 105.810.151,62	R\$ 108.083.755,74
(+) Depreciação	R\$ 18.138.568,42	R\$ 18.138.568,42	R\$ 18.138.568,42	R\$ 18.138.568,42
(=) Fluxo de Caixa Operacional	R\$ 137.379.287,78	R\$ 122.243.516,95	R\$ 123.948.720,04	R\$ 126.222.324,16
(+/-) Investimentos ou desmobilizações de equipamentos				
(-) IR sobre venda de ativos				
(+/-) Mudanças no capital de giro				
(=) Fluxo de Caixa Global	R\$ 137.379.287,78	R\$ 122.243.516,95	R\$ 123.948.720,04	R\$ 126.222.324,16

ANEXO II

	2014	2015	2016	2017
Preço CFR China (US\$/dmt) - %Fe:	135,79	124,00	124,00	124,00
% Fe praticado	62,00	62,00	62,00	62,00
Penalidade silica (US\$/dmt) - %Si:	2,50	2,50	2,50	2,50
% Si Máxima	4,50	4,50	4,50	4,50
Frete Portuário (US\$/wmt)	25,00	25,00	25,00	25,00
Umidade comercial do concentrado	10%	10%	10%	10%
Vendas Totais (base seca)	872.467,20	872.467,20	872.467,20	872.467,20
Vendas Totais (base úmida)	959.713,92	959.713,92	959.713,92	959.713,92
% Fe no Concentrado obtido	64,73	64,73	64,73	64,73
% Si no Concentrado obtido	5,29	5,29	5,29	5,29
Preço Exportação (US\$/wmt - FOB Porto)	100,81	89,74	89,74	89,74