

REAPROVEITAMENTO DE DEPÓSITOS DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO NOS SISTEMAS SUL E SUDESTE DA VALE: O EXEMPLO DA BARRAGEM DE CÓRREGO DO FEIJÃO¹

Adriana de Cássia Zapparoli²
Nilton Caixeta Guimarães³
Washington Piret²
Marcelo Calixto³
Cleber José Paula⁴
Patrícia Bento⁴
Hely Gurgel Simões³

Resumo

A evolução das técnicas de beneficiamento e do mercado siderúrgico mundial vem alterando, ao longo do tempo, as características dos rejeitos gerados nas usinas de beneficiamento de minério de ferro da VALE, os quais possuem um grande potencial (aproximadamente 270 milhões de toneladas) de finos depositados em suas barragens de rejeitos para produção, principalmente, de *pellet feed*. Além da viabilidade econômica, a tomada de decisão para implantação de projetos de reaproveitamento de depósitos de rejeitos também deve ser baseada em aspectos relacionados à segurança de barragens e benefícios ao meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo apresentar conceitos para os projetos de recuperação de rejeitos, incluindo exemplos de técnicas de perfuração e composição de amostras, métodos de lavra e caracterização mineralógica / tecnológica dos rejeitos de barragens. Os resultados para a Barragem Feijão podem ser usados como uma base de referência para novos estudos e projetos para o reaproveitamento de finos.

Palavras-chave: Barragem; Sondagem; Recuperação de rejeitos.

RECOVERY OF IRON-ORE-TAILINGS DEPOSITS IN THE VALE SOUTH AND SOUTHEAST SYSTEMS: THE EXAMPLE OF CÓRREGO FEIJÃO DAM.

Abstract

Through time, the evolution of beneficiation techniques as well as of the world steel making market has been changing the characteristics of the tailings generated at the Vale Iron Ore beneficiation plants. Vale has large potential (approximately, 270 million tons) of fines deposited in their tailing dams to produce mainly pellet feed. The world increase in the demand for iron ore, the low production cost and high iron content in the deposits have turned the project of fines recovery in dams much more attractive. The decision of whether or not to implant projects of tailings deposit recovery, should be based not only on the economic viability but also on aspects related to dams safety and benefits to the environment. This paper aims to present concepts for The Tailings Recovery Projects, including examples of drilling techniques and sampling composition, mining methods and mineralogical/technologic characterization of the tailings dam. The results of Feijão Dam can be used as a base and reference for new studies and projects for the recovery of Dams.

Key words: Dam; Drilling; Recovery of tailings.

¹ *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

² *Geólogo. DIPF - Vale S/A.*

³ *Engenheiro de Minas. DIPF - Vale S/A.*

⁴ *Técnico em Mineração. DIPF - Vale S/A.*

⁵ *Engenheiro de Minas. DIPF - Vale S/A.*

1 INTRODUÇÃO

A evolução das técnicas de beneficiamento e do mercado siderúrgico mundial vem alterando, ao longo do tempo, as características dos rejeitos gerados nas usinas de beneficiamento de minério de ferro da VALE.

Os processos de sinterização e pelotização, os quais consistem em aglomeração dos finos de minério de ferro das minas, aumentou a demanda pela indústria siderúrgica.

A tendência mundial é carregar o alto forno com carga metálica mista constituída de *sinter*, minério granulado e pelota. Os minérios tipo *sinter feed* (-6,3+0,150 mm) são processados nas sinterizações para produção do *sinter*, enquanto que os mais finos, tipo *pellet feed* (-0,150 mm), são destinados às plantas de pelotização para produção da pelota.

A aplicação de novas etapas de concentração dos finos de minério de ferro nas usinas, principalmente separação magnética e flotação, visando o aumento da recuperação dos finos de minério de ferro, vem contribuindo para a redução do volume e do conteúdo metálico do material enviado para as barragens.

Desta maneira, materiais de granulometria mais fina, que outrora eram dispostos em barragens, são processados nas usinas e transformados em produtos. Cada vez mais se busca inovações tecnológicas para maior recuperação desses finos nas usinas.

O aumento da demanda de minério de ferro ao longo dos anos está tornando os antigos depósitos de rejeitos atrativos para reaproveitamento. Além de transformar parte do depósito em produto comercial, propicia um ganho ambiental cada vez mais importante nos dias de hoje, reduzindo a necessidade de licenciamento de novas áreas para disposição de rejeitos.

Além da viabilidade econômica, a tomada de decisão para implantação de projetos de reaproveitamento de depósitos de rejeitos deve ser baseada também em aspectos relacionada à segurança das barragens e ganhos para o meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo apresentar conceitos aplicados nos Projetos de Reaproveitamento de Rejeitos, incluindo exemplos de técnicas de sondagem, composição de amostras, métodos de lavra e caracterização mineralógica / tecnológica de alguns estudos de caso.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo e recuperação dos depósitos de rejeitos dos Sistemas Sul e Sudeste da VALE, passa necessariamente pela utilização de técnicas de sondagem⁽¹⁻³⁾ para cubagem dos depósitos e geração de amostras para caracterização, métodos de lavra por desmonte hidráulico,⁽¹⁾ dragagem⁽³⁾ ou lavra mecânica,⁽¹⁾ dependendo do tipo de depósito a ser lavrado/pesquisado e, métodos de concentração mais adequados para o minério, além de uma avaliação econômica posterior.

Os depósitos podem ser caracterizados, considerando sua forma, em três tipos:⁽¹⁾ barragens em vale; diques em meia encosta; e, diques periféricos (terrenos planos), onde para cada um desses tipos as técnicas empregadas são distintas tanto para sua formação quanto para seu reaproveitamento.⁽¹⁾

A decisão de dragar depósitos de rejeitos está calcada em necessidades técnicas e operacionais, a saber:⁽³⁾ galgamento da barragem e seu rompimento; diminuição na capacidade de armazenamento de água; capacidade de

armazenamento de rejeitos esgotada; necessidade de recuperação ambiental; e, teor médio do material depositado ser economicamente viável para se executar uma lavra.

Também a área a ser dragada deve obedecer a determinados aspectos³ do material disposto, que podem inviabilizar tal operação. São eles: capacidade de suporte; composição do material; compactação ou coesão do material; vazão do rio ou do córrego que forma a represa; e, existência de vegetação e seu porte.

Neste trabalho será mostrado o exemplo da Barragem B1 da Mina de Feijão (Figura 1), onde foram utilizadas técnicas de sondagens diferentes, caracterização granulométrica, química e mineralógica, além da definição de prováveis rotas de concentração baseadas nas técnicas analíticas utilizadas e respectivos testes de bancada.



Figura 1: Vista geral da barragem B1 da Mina de Feijão.

O início da disposição de rejeitos dessa barragem data do ano de 1974, que resultou na deposição de campanhas alternadas de material itabirítico e hematítico, contabilizando em torno de 26 milhões de toneladas depositadas. Até o momento dez alteamentos já foram realizados.



Figura 2: A – Furo de sondagem empregando trado, para as regiões de praia. B – Plataforma flutuante utilizada para realização de sondagem percussiva nas regiões que apresentam lâmina d'água.

Os métodos de sondagem escolhidos para este estudo foi o trado helicoidal (Figura 2A) para a região de praia (aproximadamente 150 m de largura) e sondagem a percussão por lavagem com fluxo de água contínua nas regiões onde há lâmina

d'água. Nessas regiões de lâmina d'água (125.000 m²) utilizou-se plataforma flutuante (Figura 2B), trépano, tripé e conjunto moto-bomba de baixa pressão e alta frequência.

A bentonita ([Ca,Na,MG]Si₄[Al+MG]₄) não foi utilizada visto que essa pode contaminar o material a ser estudado. Optou-se pela utilização de polímeros orgânicos como revestimento e lubrificante.

Primeiramente foram aplicados os polímeros Supervis, Celutrol HV1 e SM 2000, porém as amostras, após secagem, mostraram endurecimento excessivo (alto poder de hidratação dos polímeros retirando a umidade das amostras), sendo necessário submetê-las a várias etapas de deslamagem, (cinco a nove estágios), para posterior execução das análises granulométricas e testes tecnológicos, que resultou em perdas de massa significativas.

Após estes resultados utilizaram-se dois outros polímeros, Celutrol HV1 e Goma Gel, que apresentou melhoras significativas quanto à melhora na recuperação dos furos, redução da absorção da umidade das amostras e facilidade na remoção dos polímeros, resultando em perdas de massa pouco expressivas.

Foram executados 20 furos de sonda, amostrados de um em um metro, resultando em 530 amostras para estudo. Como a massa por intervalo mostrou-se muito pequena, esses foram agrupados gerando novas amostras, para que fosse possível a caracterização tecnológica dos materiais.

As amostras para o estudo foram submetidas à análise granulométrica utilizando peneiramento a úmido, além de resultados de química analítica, através dos métodos de fluorescência de raios X e via úmida.

Estudos mineralógicos foram executados em 21 amostras, utilizando microscopia ótica, visando à quantificação dos minerais presentes bem como a definição do grau de liberação dos cristais de quartzo. Também a porosidade foi quantificada através desse método.

3 RESULTADOS

Os resultados mineralógicos mostraram que o material é composto essencialmente por hematitas (principalmente hematita granular), com contribuição de magnetita e martita, além da hidratação pervassiva marcada pela presença de goethita e limonita. Argilominerais estão presentes e estão representados por gibbissita e caolinita, além de óxidos de manganês. Na Figura 3 são mostradas as associações mineralógicas observadas para as amostras da Barragem de Feijão.

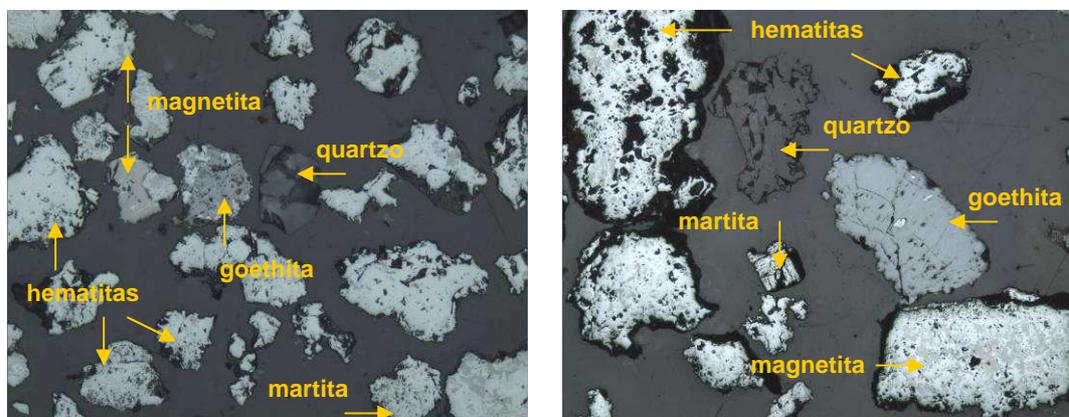


Figura 3: Associações mineralógicas observadas nas amostras da Barragem de Feijão. Aumento de 100x.

A média dos resultados mineralógicos, para as diferentes faixas granulométricas estudadas, é apresentada na Figura 4.

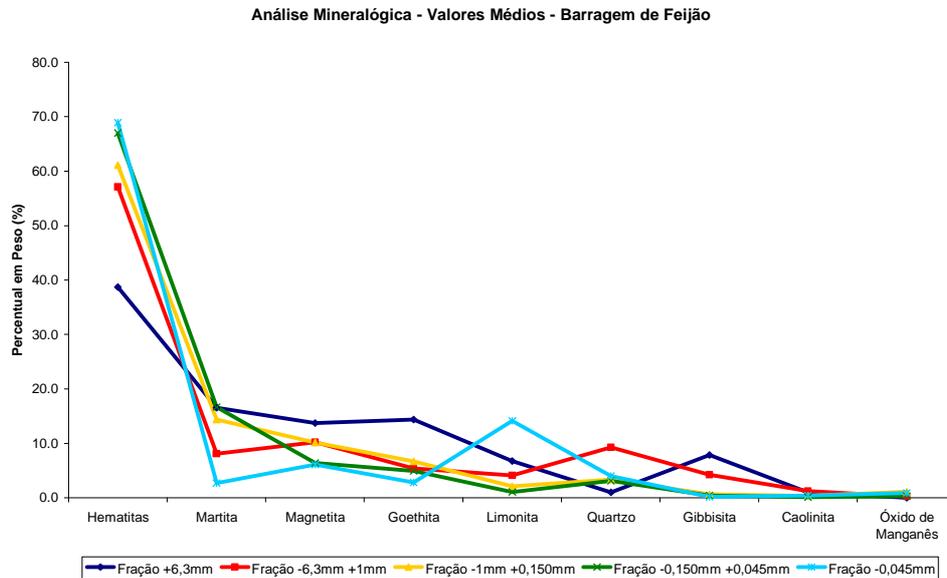


Figura 4: Resultados mineralógicos para as diferentes frações granulométricas estudadas.

O valor médio, para o percentual em peso de magnetita nas diversas frações estudadas é de 9,3%. Já os percentuais médios de massa magnética obtidos são mostrados na Figura 5. Note que os valores são elevados e são congruentes com a forma de ocorrência da magnetita: inclusões reliquiárias nas outras fases ferruginosas.

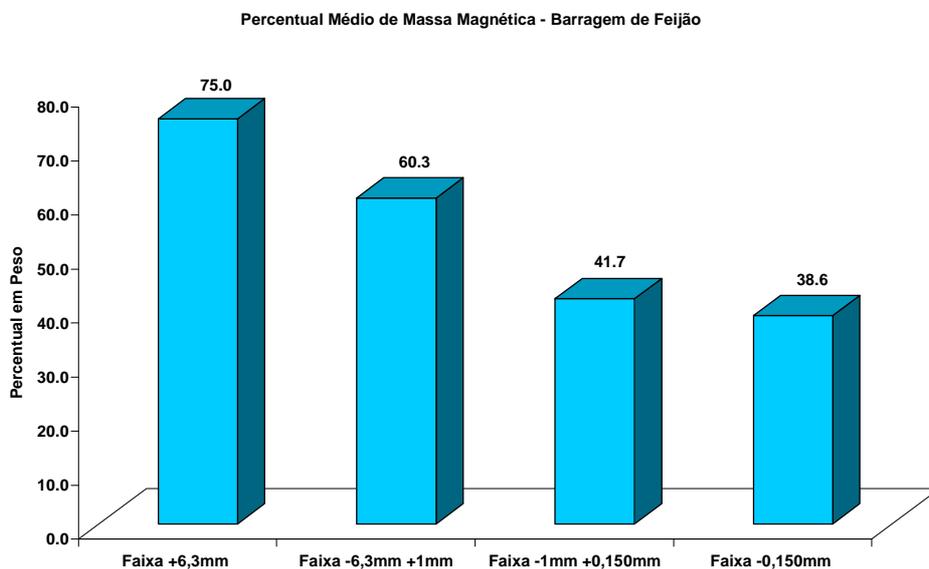


Figura 5: Percentual de massa magnética obtida para as frações granulométricas da Barragem de Feijão.

O grau de liberação obtido para as faixas granulométricas e mostrado na figura 6. Note que para as faixas mais finas esse valor é elevado.

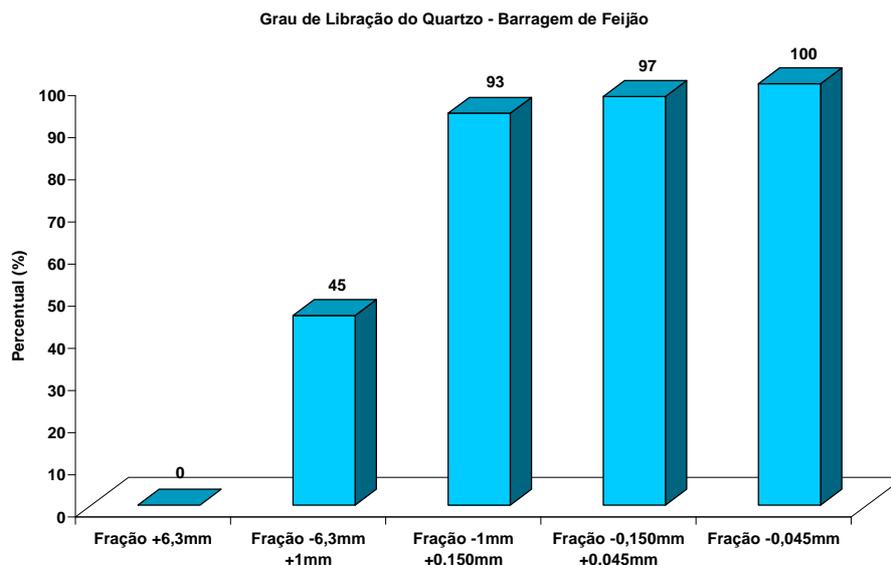


Figura 6: Grau de liberação dos cristais de quartzo, obtidos para as frações granulométricas estudadas.

A porosidade média mostrou-se baixa, os valores são apresentados na Figura 7.

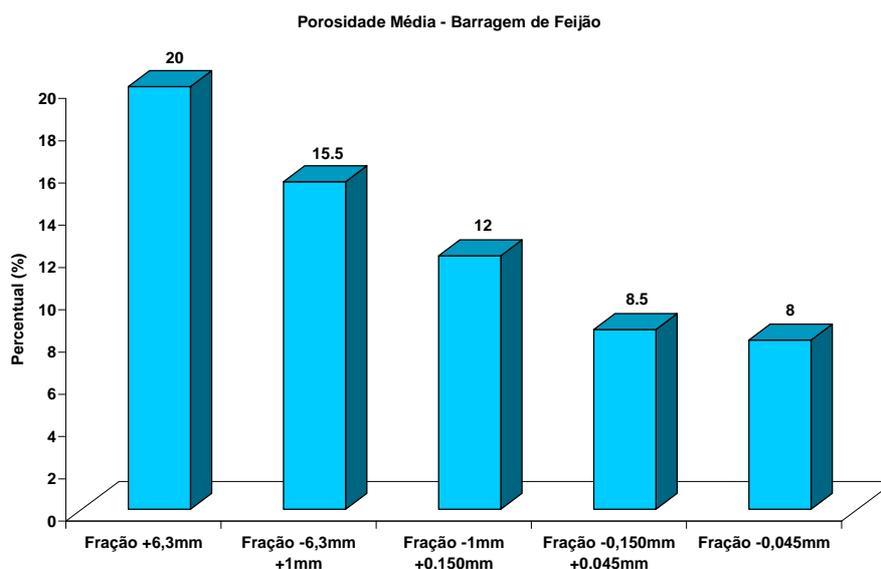


Figura 7: Porosidades obtidas para as frações granulométricas estudadas.

A distribuição geográfica dos furos de sonda dentro da Barragem de Feijão é mostrada na Figura 8.

Através dos resultados granulométricos encontrados para os furos de sonda foi possível dividir a Barragem em três domínios (Figura 9). A definição dos domínios foi baseada na distribuição de passante abaixo de 0,045 mm, como mostra a Figura 10.

Note que:

- para o domínio dos grossos, o percentual de passante em 0,045mm está entre 29% e 42%;
- para o domínio dos mistos, a porcentagem de passante é de 68,84%; e
- para o domínio de finos tem-se passante em 0,045mm entre 88% e 100%.

Cada domínio pode ser subdividido em subdomínios, considerando as características químicas observadas.

O domínio de grossos pode ser separado em subdomínio homogêneo e heterogêneo.

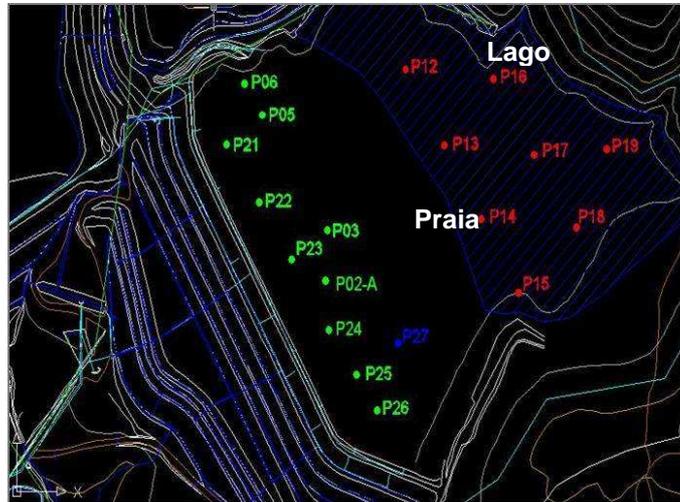


Figura 8: Distribuição dos furos de sonda estudados na Barragem de Feijão.

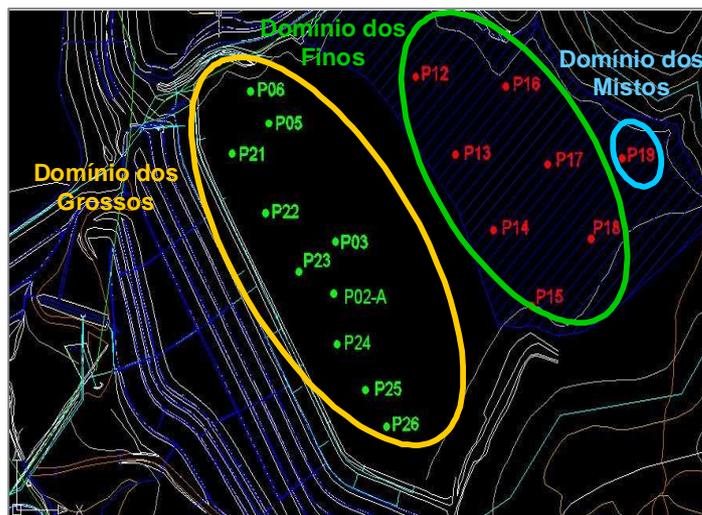


Figura 9: Domínios estabelecidos na Barragem de Feijão, baseado na distribuição granulométrica das amostras.

O subdomínio homogêneo mostra homogeneidade química e granulométrica dentro dos intervalos de cada furo e entre os outros furos que o compõe (Figura 11). O subdomínio heterogêneo apresenta heterogeneidade granulométrica entre os intervalos, porém homogeneidade entre os furos que compõem o subdomínio (Figura 12).

Na Figura 13 são mostrados os subdomínios encontrados para o domínio dos grossos.

O domínio dos finos também pode ser subdividido em dois subdomínios: silicoso e ferruginoso, baseado nos resultados químicos obtidos.

Na tabela I são mostrados os dados químicos globais para os furos que compõem esses subdomínios. Note que para o domínio ferruginoso o conteúdo metálico é baixo devido aos elevados teores de contaminantes.

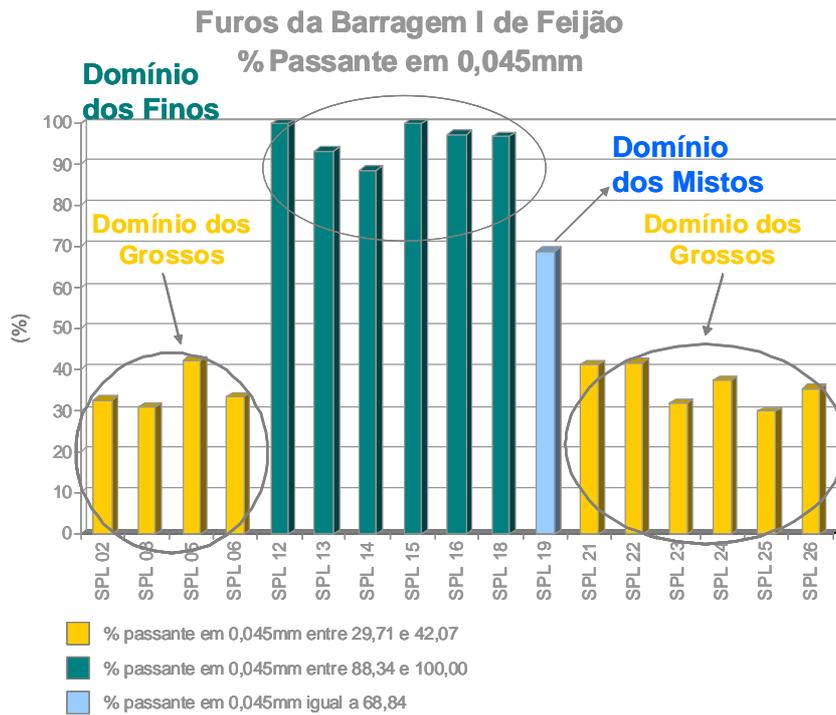


Figura 10: Distribuição granulométrica para a Barragem de Feijão e definição de domínios.

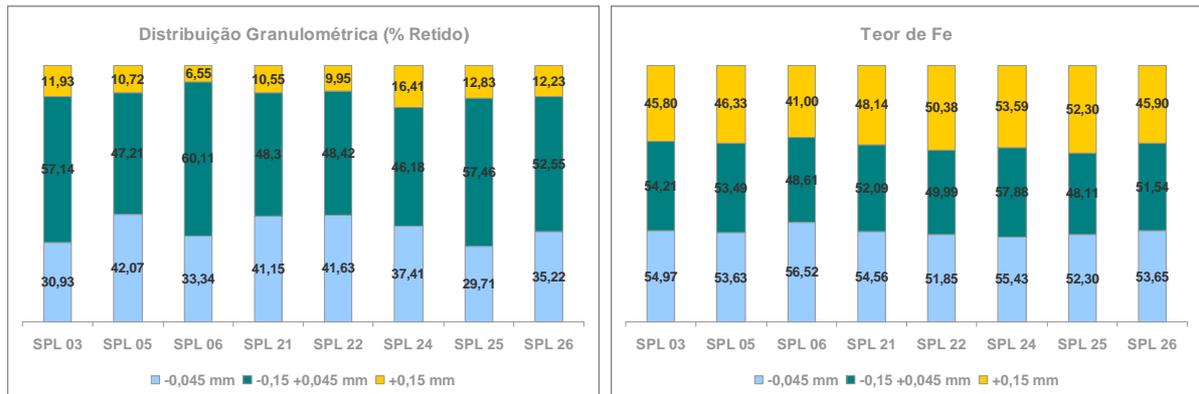


Figura 11: Resultados granulométricos e químicos obtidos para o subdomínio homogêneo.

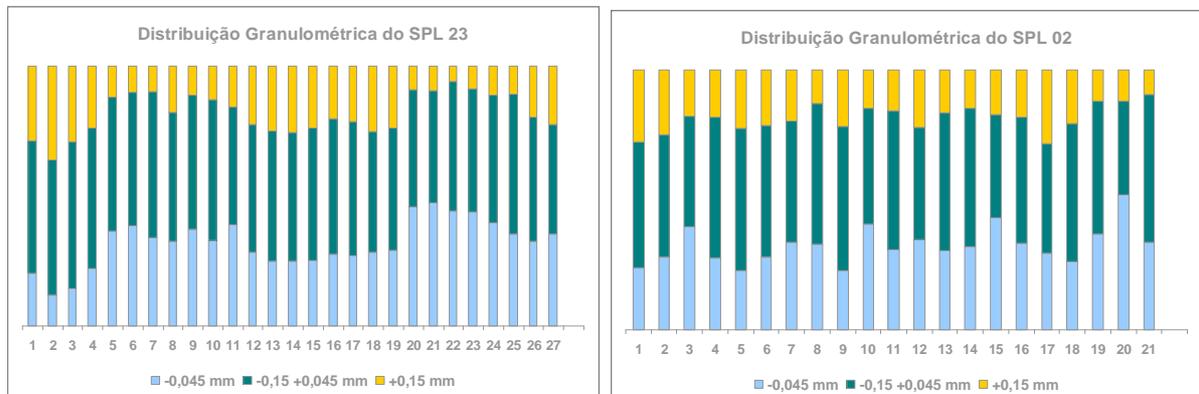


Figura 12: Resultados granulométricos obtidos para o subdomínio heterogêneo.

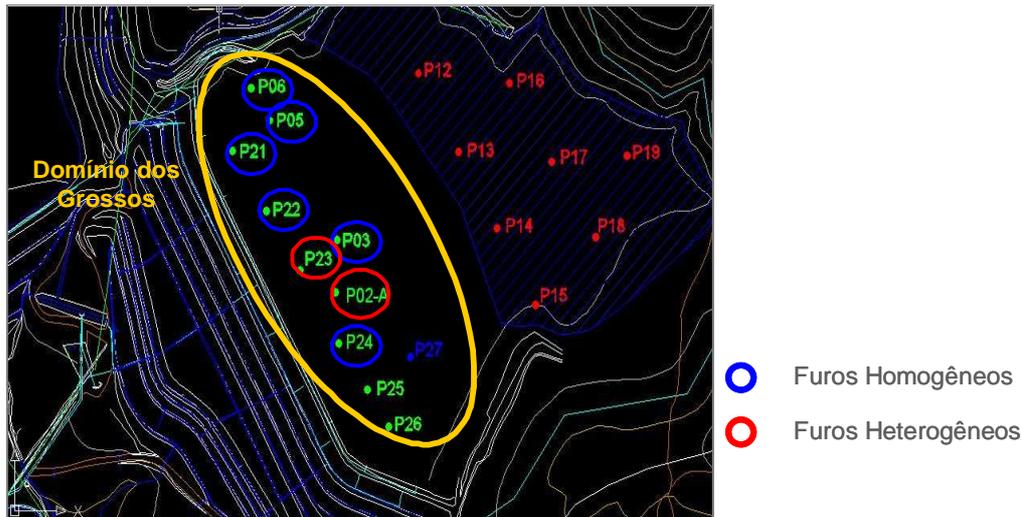


Figura 13: Subdomínios presentes no domínio de grossos da Barragem de Feijão.

Tabela 1: Dados químicos médios globais obtidos para os furos do domínio de furos

| Domínio Ferruginoso | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Furos | Fe | SiO2 | Al2O3 | P | Mn | TiO2 | CaO | MgO | PPC |
| SPL 12 | 47.91 | 11.9 | 7.92 | 0.171 | 1.955 | 0.243 | 0.076 | 0.257 | 6.62 |
| SPL 13 | 44.24 | 15.86 | 6.63 | 0.188 | 2.182 | 0.319 | 0.085 | 0.254 | 10.00 |
| SPL 14 | 48.68 | 19.36 | 4.07 | 0.133 | 1.574 | 0.151 | 0.065 | 0.138 | 4.26 |
| Domínio Silicoso | | | | | | | | | |
| Furos | Fe | SiO2 | Al2O3 | P | Mn | TiO2 | CaO | MgO | PPC |
| SPL 15 | 43.23 | 34.66 | 1.43 | 0.047 | 0.200 | 0.107 | 0.005 | 0.045 | 1.91 |
| SPL 16 | 38.90 | 35.98 | 3.04 | 0.095 | 0.873 | 0.106 | 0.105 | 0.171 | 3.51 |
| SPL 18 | 37.02 | 29.27 | 7.32 | 0.165 | 1.859 | 0.311 | 0.071 | 0.160 | 6.40 |

Na Figura 14 são mostrados os subdomínios presentes do domínio dos finos.

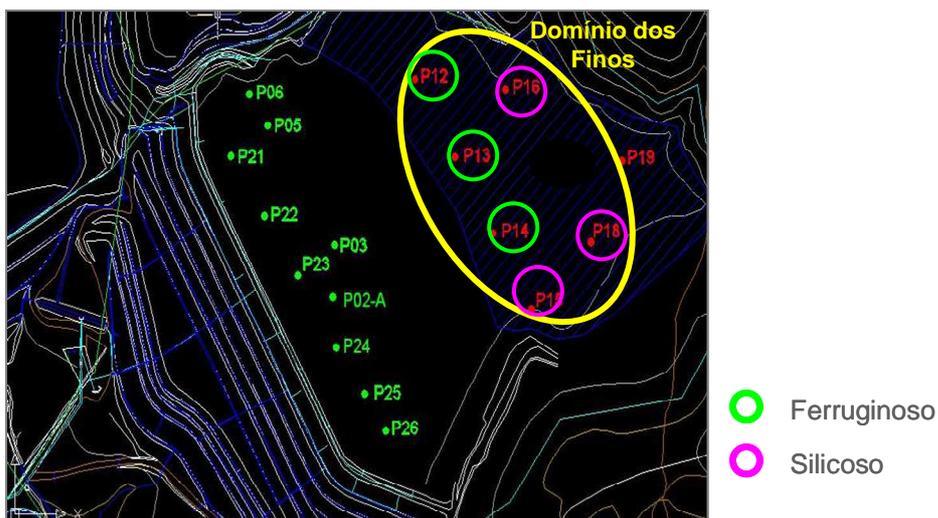


Figura 14: Subdomínios presentes no domínio de finos da Barragem de Feijão.

Para o domínio dos mistos, por estar representado por um único furo, não é possível subdividi-lo. Esse domínio mostra em seus intervalos variações granulométricas e químicas (Figura 15).

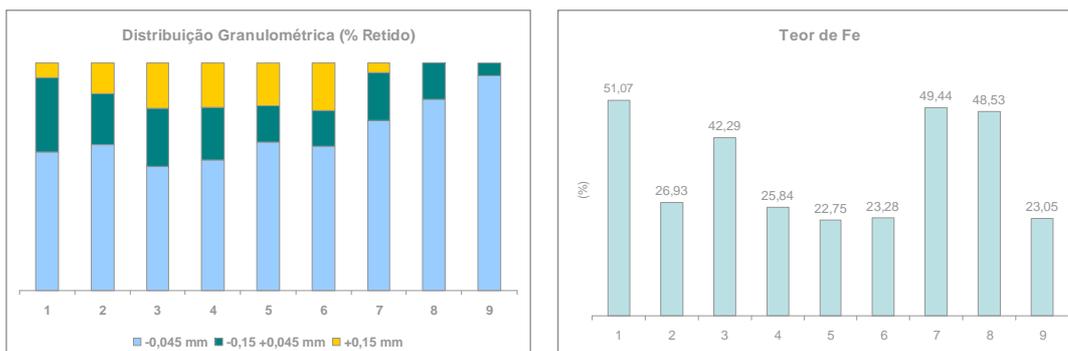


Figura 15: Resultados granulométricos e químicos obtidos para o domínio de mistos da Barragem de Feijão.

4 DISCUSSÃO

Considerando que os estudos mostraram associações mineralógicas que indicam a separação magnética como rota provável, duas rotas de processo foram avaliadas nos ensaios tecnológicos, com o objetivo de ser realizar um *trade off* entre custo de implantação, recuperação mássica e qualidade do produto. As duas rotas de processo são apresentadas nas Tabelas 2 e 3 e na Tabela 4 são mostrados os valores obtidos nos testes de bancada.

Tabela 2: Rota de processo I para a Barragem de Feijão

| Furo | Domínio | Rota Proposta |
|--------------------------|----------------------|---|
| SPL 02 | Grossos Heterogêneos | Classificação em 0.15 mm Separação Magnética da fração $-1.00 + 0.15\text{mm}$ Deslamagem e Flotação da fração -0.15mm |
| SPL 03 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 06 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 23 | Grossos Heterogêneos | |
| SPL 21 + SPL 22 + SPL 24 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 05 + SPL 25 + SPL 26 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 12 + SPL 13 + SPL 14 | Finos Ferruginosos | - |
| SPL 15 + SPL 16 + SPL 18 | Finos Silicosos | - |

Tabela 3. Rota de processo II para a Barragem de Feijão

| Furo | Domínio | Rota Proposta |
|--------------------------|----------------------|---|
| SPL 02 | Grossos Heterogêneos | Separação Magnética da fração -1.00 mm total . |
| SPL 03 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 06 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 23 | Grossos Heterogêneos | |
| SPL 21 + SPL 22 + SPL 24 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 05 + SPL 25 + SPL 26 | Grossos Homogêneos | |
| SPL 12 + SPL 13 + SPL 14 | Finos Ferruginosos | - |
| SPL 15 + SPL 16 + SPL 18 | Finos Silicosos | - |

A rota II apresentou os melhores resultados tanto em recuperação mássica, quanto na qualidade do produto, além de ser um circuito mais simples para implantação e operação

Diante dos resultados ficou definida que a rota de processo que considera somente a separação magnética é a melhor opção para o reaproveitamento dos finos da Barragem de Córrego do Feijão.

Tabela 4: Resultados obtidos em cada rota de processo avaliada, através de teste de bancada

| Resultados da Rota I | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|------|
| Fluxos | Recuperação Mássica (%) | Fe | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | P | CaO | MgO | Mn | TiO ₂ | PPC |
| Alimentação | 80.52 | 56.46 | 15.77 | 1.12 | 0.038 | 0.020 | 0.054 | 0.243 | 0.066 | 1.63 |
| Concentrado | 60.20 | 66.73 | 1.59 | 0.80 | 0.036 | 0.019 | 0.045 | 0.221 | 0.063 | 1.46 |
| Rejeito | 20.32 | 26.01 | 57.80 | 2.07 | 0.044 | 0.022 | 0.080 | 0.310 | 0.073 | 2.11 |

| Resultados da Rota II | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|------|
| Fluxos | Recuperação Mássica (%) | Fe | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | P | CaO | MgO | Mn | TiO ₂ | PPC |
| Alimentação | 88.56 | 57.11 | 15.49 | 0.89 | 0.035 | 0.017 | 0.049 | 0.206 | 0.060 | 1.38 |
| Concentrado | 68.00 | 67.54 | 1.50 | 0.49 | 0.029 | 0.017 | 0.041 | 0.160 | 0.054 | 0.92 |
| Rejeito | 20.56 | 22.64 | 61.78 | 2.22 | 0.055 | 0.019 | 0.077 | 0.361 | 0.080 | 2.87 |

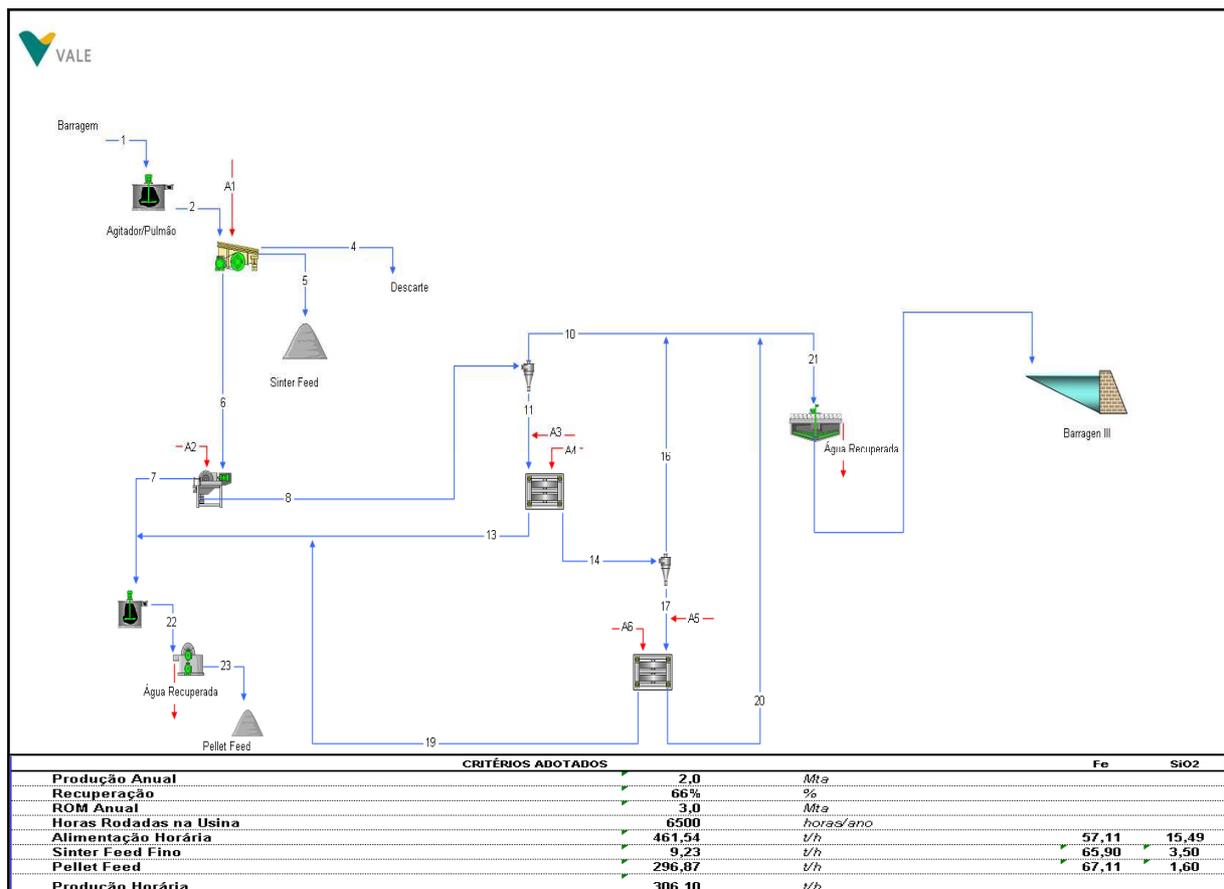


Figura 16: Fluxograma de processo para beneficiamento dos finos da barragem de Feijão.

A Figura 16 apresenta o fluxograma de processo proposto para a produção de 2 Mta. O circuito considera um peneiramento inicial de proteção, separação magnética de baixa e alta intensidade de campo, filtragem a vácuo do *pellet feed* em

filtros de disco vertical, deslamagem em hidrociclones, espessamento para adensamento das lamas e recuperação de água para o processo.

5 CONCLUSÕES

- As técnicas de amostragem utilizadas apresentaram melhorias e atenderam às necessidades da caracterização tecnológica, com diminuição do tempo previsto;
- O método de lavra a ser adotado depende:
 - das características de cada depósito;
 - da elevação do nível de água nos reservatórios; e
 - de condições de segurança.
- Para a Barragem I de Feijão, recomenda-se o método de desmonte hidráulico, mais seguro e econômico para esta estrutura.
- A melhor alternativa para o beneficiamento de finos da barragem é a concentração magnética.
- Os novos projetos devem ter como base e referência este estudo de caso.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a VALE pela oportunidade, em especial a Henry Galbiatti e Leonardo Queiroz pelo incentivo.

REFERÊNCIAS

- 1 ABRÃO, P.C. Reaproveitamento de Depósitos de Rejeitos – Lavras de Barragens. Geoconsultoria. Seminário de Geotecnia. Vale S/A, Anais. Outubro 2007.
- 2 CUEVAS R. Remotion Hidráulica: Alternativa para remover tanques e relaves. Fraser Alexander Chile S/A. Seminário de Geotecnia. Vale S/A, Anais. Outubro 2007.
- 3 TAKAHASHI, K. Sistemas de Dragagem aplicados às Barragens de Rejeitos. DRA Consult Engenharia Ltda. Seminário de Geotecnia. Vale S/A, Anais. Outubro 2007.