

# DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS DIVERSOS TIPOS LITOLÓGICOS NAS OPERAÇÕES DO CONCENTRADOR DA MINA DE BRUCUTU<sup>1</sup>

*José Benedito Roberto<sup>2</sup>*

*Gunter Lipper<sup>3</sup>*

*Paulo Roberto de Magalhães Viana<sup>4</sup>*

*Venissa Lima<sup>5</sup>*

*Cleber José de Paula<sup>6</sup>*

*José Marcelino dos Reis<sup>7</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo a criação de testes de caracterização tecnológica de rotina que possam ser aplicados nas amostras de curto prazo da Mina de Brucutu visando otimizar o processo da usina de beneficiamento de minério de ferro, bem como melhorar o conhecimento para a formação de pilhas de ROM para estabilizar as variáveis de processo. O estudo foi realizado em etapas: seleção de amostras para realização dos testes escolhidas de acordo com a tipologia já existente e com a predominância da mesma na mina; separação das amostras em frações granulométricas para análises químicas e ensaios de caracterização mineralógica; aplicação de testes específicos de acordo com as características de processo da usina de concentração. Os testes foram definidos a partir de estudo realizado em diferentes frações granulométricas de uma amostra padrão constituindo-se em separação gravítica por bateia mecânica, separação magnética de média e alta intensidade e flotação. Com o produto do estudo chega-se a etapa de definição de variáveis de controle de ROM para atendimento do processo de concentração de minério de ferro em adição às tradicionais variáveis físico-químicas. Espera-se com este trabalho estabelecer correlações entre associações geológicas específicas e a influência destas associações em diferentes variáveis ao longo do processo de beneficiamento. Com a conclusão deste trabalho e implantação dos testes nas amostras de rotina um número representativo de informações será criado, o que nos permitirá dar início à confecção de um modelamento geomatemático das variáveis associadas à caracterização tecnológica.

**Palavras-chave:** Teste padrão; Tipologia do minério.

## **DETERMINATION OF THE INFLUENCE FROM THE SEVERAL LITHOLOGICAL TYPES IN THE OPERATIONS OF BRUCUTU MINE CONCENTRATOR**

### **Abstract**

The present investigation aimed the development of regular procedures for technological characterization tests that can be applied on the Brucutu mine sampling routine. The main targets of the study is the optimization of the iron ore processing as well as the knowledge improvement for the homogenization piles composition and consequently a more stable feed to the concentrator. This work can be separated in 3 steps: sample selection for testing in accordance with the geological typologies and its predominance throughout the mine, separation of each sample in selected granulometric fractions for chemical and mineralogical analysis and characterization tests which were defined during a previous study using a standard sample for the simulation of Brucutu mine iron ore treatment. The tests are made up of gravity separation trough mechanical panning, magnetic separation and flotation. It is the aim of this work the establishment of correlations between specific geological associations and the variables associated to the ore behavior during the beneficiation process in addition to the traditional physical and chemical variables. In the conclusion of this work it is expect to implement some of the characterization tests during the mine sampling routine. A large number of critical information will also be created contributing to the development of a geomathematic model with the variables associated to the characterization tests.

**Key words:** Standard test; Ore typology.

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 *Mestrando em Tecnologia Mineral, UFMG, Supervisor de Processo, Companhia Vale do Rio Doce, São Gonçalo do Rio Abaixo, MG, Brasil.*

3 *Engenheiro de Minas, Engenheiro de Processo, Companhia Vale do Rio Doce, São Gonçalo do Rio Abaixo, MG, Brasil.*

4 *Engenheiro de Minas, Dr., Professor Adjunto do Dep. de Engenharia de Minas, CPGEM, UFMG.*

5 *Geóloga, M.Sc, Companhia Vale do Rio Doce, São Gonçalo do Rio Abaixo, MG, Brasil.*

6 *Técnico de Mineração, Supervisor, Centro de Pesquisa Tecnológica, Mina de Alegria.*

7 *Acadêmico em Engenharia de Produção, Técnico em Metalurgia, Companhia Vale do Rio Doce, São Gonçalo do Rio Abaixo, MG, Brasil.*

# 1 INTRODUÇÃO

A jazida de minério de ferro de Brucutu situa-se a nordeste do Quadrilátero Ferrífero próximo à cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, a aproximadamente 100 km a leste de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais.

No primeiro semestre de 2008, o concentrador da mina de Brucutu cuja produção atual é de 24 MTA realizou um estudo com 6 amostras das litologias que compuseram as pilhas que alimentaram a usina durante esse período. Esse estudo mostrou que a quantidade de lama (material menor que 10 micrômetros) é determinante para restringir a participação de determinadas litologias na alimentação da usina.<sup>(1)</sup> Os resultados desse estudo motivaram a realização de um estudo mineralógico e tecnológico mais amplo e completo com as principais litologias presentes na mina, nas diferentes etapas de beneficiamento do minério, através da determinação das propriedades físicas, químicas e composição mineralógica do minério.<sup>(2)</sup> Assim, foi realizada a caracterização de 34 amostras de frente de lavra e 1 amostra de furo de sonda, sendo as mesmas coletadas de modo a obter a maior variabilidade tipológica da mina respeitando a proporção de ocorrência de cada uma.

Os principais objetivos deste trabalho são:

- identificação das características físicas e químicas das tipologias que ocorrem na Mina e o comportamento de cada tipologia frente aos processos de concentração;
- otimização do *blend* das pilhas de homogeneização durante sua formação;
- previsibilidade dos resultados de produtividade e qualidade por tipologia; e
- implantação de testes de rotina, a serem aplicados nas amostras de curto prazo realizadas na Mina de Brucutu, tendo por fim a possibilidade de se criar um modelo geomatemático destas variáveis de processo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização Inicial das Amostras

No domínio da geologia regional e local afloram as principais tipologias mapeadas na mina que segundo características avaliadas visualmente e características mineralógicas, são: Itabiritos friáveis (IF) e compactos (IC), hematita friável (HF), itabirito goethítico (IGO) e hematita goethítica (HGO), Canga (CG), itabirito manganífero (IMN), itabirito aluminoso (IAL) e hematita aluminosa (HAL), itabirito anfíbolítico (IAF) e hematita anfíbolítica (HAF). A tipologia predominante constitui-se dos itabiritos friáveis totalizando 76% do total de recursos da mina de Brucutu.<sup>(3)</sup>

### 2.2 Metodologia de Coleta das Amostras

Foram coletadas e classificadas 35 amostras, distribuídas amplamente na mina e com o objetivo de representar a variabilidade tipológica da mina de Brucutu, respeitando parcialmente a proporção de ocorrência de cada uma, mas representando todos os tipos. Todas as amostras foram fotografadas e descritas segundo critérios geológicos visuais.

## 2.3 Metodologia dos Testes

Para cada amostra está associado um teste padrão para avaliar o comportamento de cada litologia no processo de concentração. Esses testes visam simular o processo industrial, fornecendo assim as respostas necessárias para um melhor controle operacional e subsídios para um melhor monitoramento na formação das pilhas que alimentam a usina. Todas as amostras, britadas a 8,0 mm, são classificadas nas frações -8,0+1,0 mm, -1,0+0,21 mm; -0,21+0,075 mm; -0,075+0,045 mm e -0,045 mm. Os testes de caracterização selecionados são descritos a seguir e ilustrados no fluxograma da Figura 1:

- concentração gravítica em bateia a fim de simular a jigagem, de modo a separar toda a goethita e quartzo presente na amostra;
- concentração Magnética estagiada de forma a simular os estágios de média (WDRE) e alta (WHC) intensidade, adotando-se abertura de matriz de 2,5mm e campos magnéticos de 2.400 Gauss e 6.000 Gauss, objetivando separar as magnetitas/hematitas martíticas e hematitas, respectivamente;
- deslamagem em dois estágios em pH entre 9,0 e 10,0 com 5 minutos de agitação e 15 de sedimentação e porcentagem de sólidos de 25%; e
- flotação em escala de bancada utilizando como depressor amido de milho tipo *gritz* numa dosagem inicial de 600 g/t em relação à alimentação e como coletor a amina EDA-C numa dosagem inicial de 250 g/t em relação ao teor de SiO<sub>2</sub>. A dosagem de coletor varia de acordo com o teor de SiO<sub>2</sub> da alimentação. O pH de flotação é 10,50 e o percentual de sólidos 50%.

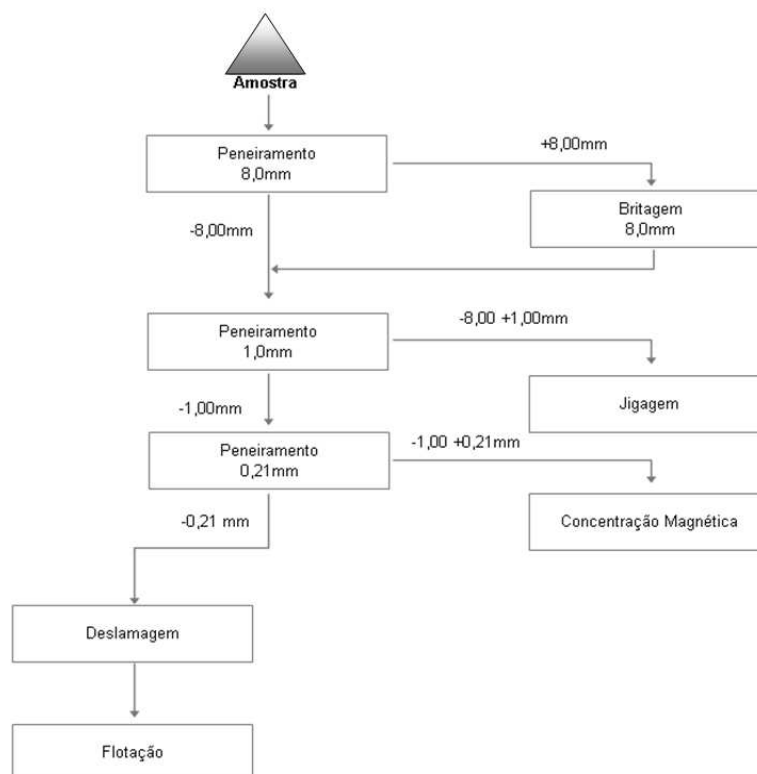


Figura 1. Fluxograma de caracterização tecnológica.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Considerando-se a análise dos resultados obtidos nos testes, esta análise terá três tópicos principais associados a três frações granulométricas distintas que foram

submetidas a diferentes testes. Os resultados apresentados neste trabalho serão apenas aqueles que possuem relevância no que tange ao objetivo do trabalho.

### 3.1 Fração -8,0+1,0mm

A Figura 2 apresenta o percentual retido simples na fração -8,0+1,0mm das amostras estudadas, onde se observa uma heterogeneidade granulométrica entre as litologias e também dentro das mesmas. Isso impacta na produção de *sinter feed* da usina, seja como produto natural e/ou através da concentração gravítica.

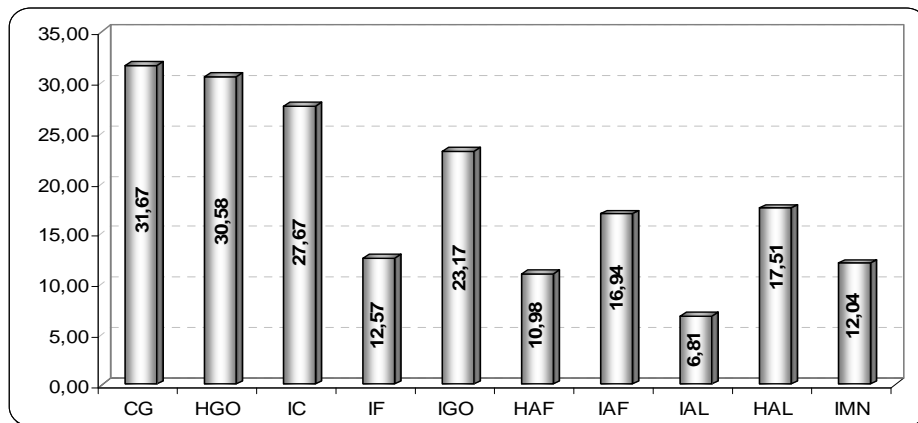


Figura 2. Fração -8,0+1,0mm - % retida Simples.

A forma que o quartzo ocorre (mista ou livre) é bastante variável. O grau de liberação do quartzo para as amostras pobres em SiO<sub>2</sub> influencia bastante no resultado da concentração gravítica como mostrado na Figura 3.

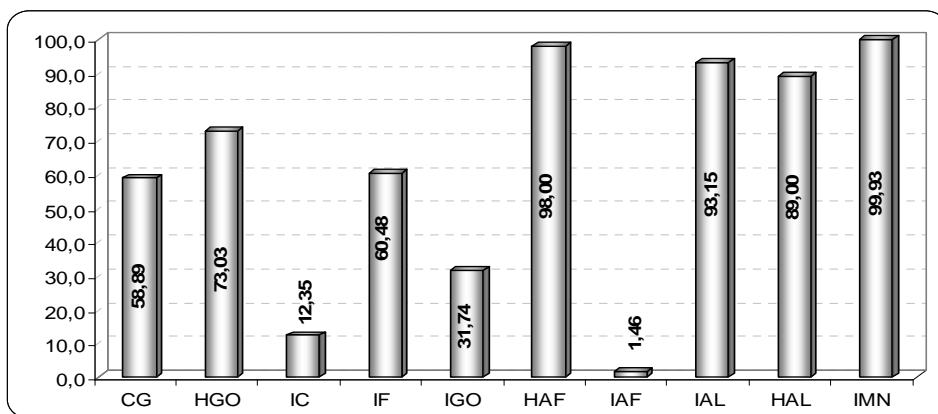
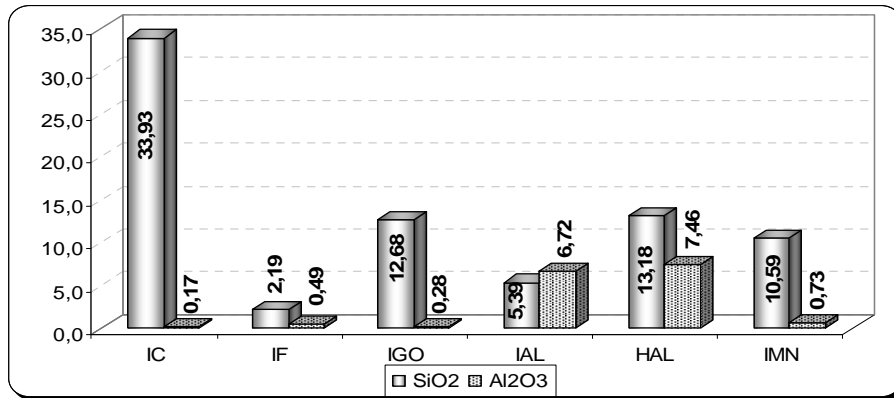


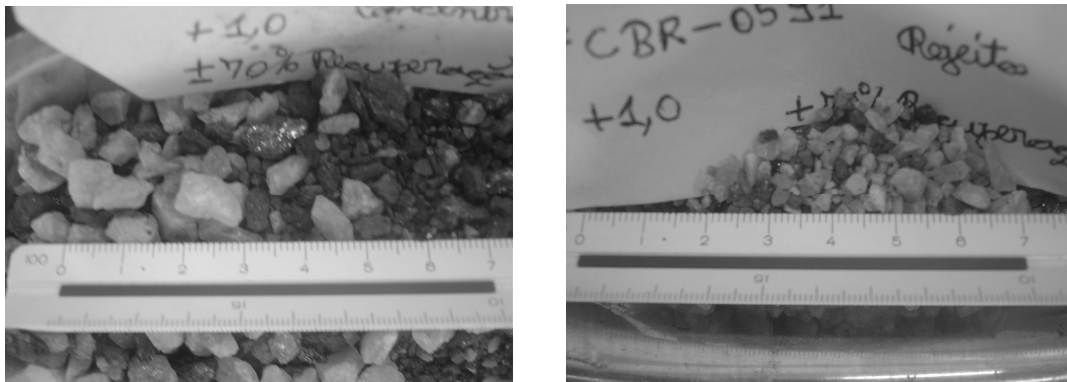
Figura 3. Fração -8,0+1,0mm – Grau de liberação do quartzo.

Para grande parte das amostras não há necessidade de concentração. Aquelas que foram submetidas ao processo de concentração gravítica são apresentadas na Figura 4. A premissa para realização dos testes, foi trabalhar com a recuperação mássica que garantisse a qualidade de SiO<sub>2</sub> no concentrado próxima a atual especificação para o *sinter feed* (%SiO<sub>2</sub> < 4,5).



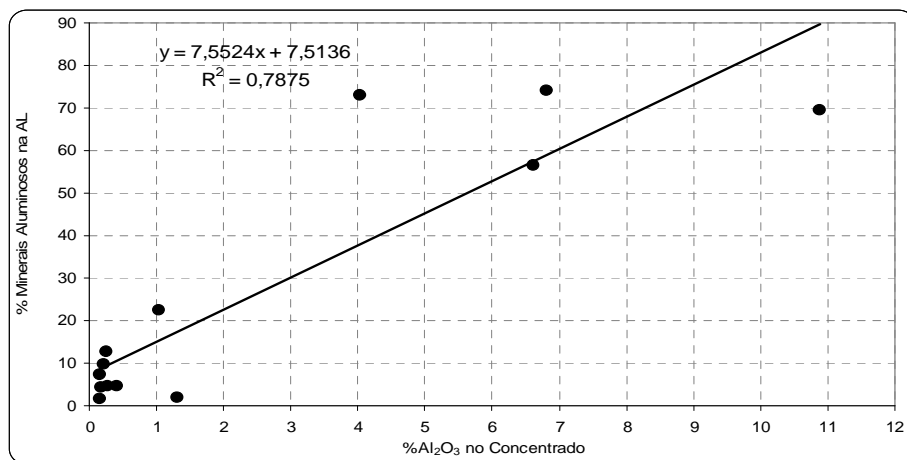
**Figura 4.** Fração -8,0+1,0mm – %SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no concentrado de bateia.

Para uma das amostras de itabirito goethítico e para o itabirito compacto não foi possível a obtenção de um concentrado com qualidade devido ao baixo grau de liberação. A amostra de itabirito manganífero não apresentou bom resultado devido a granulometria do quartzo ser grossa, fazendo com que este mineral não fosse para o rejeito, conforme pode ser visto na Figura 5.



**Figura 5.** Fração -8,0+1,0mm (IMN).

No gráfico da Figura 6 tem-se a correlação dos minerais aluminosos na alimentação e o teor de AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no concentrado.



**Figura 6.** Correlação dos minerais aluminosos e teor de AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no concentrado.

### 3.2 Fração -1,0+0,21mm

O gráfico da Figura 7 apresenta o percentual retido simples na fração -1,0+0,21mm das amostras estudadas, onde se observa uma heterogeneidade granulométrica entre as litologias e também dentro das mesmas. Isso impacta na produção de *sinter feed* que poderá ser produzido na usina.

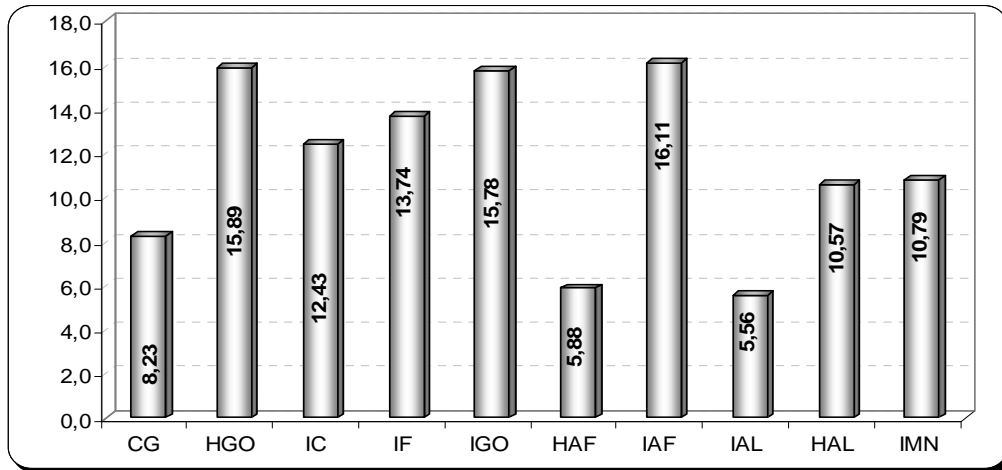


Figura 7. Fração -1,0+0,21mm - % retida Simples.

O quartzo misto não ocorre com inclusão de fases ferruginosas na maioria das amostras (o que poderia empobrecer o concentrado) e a liberação do mesmo é alta para a maioria das amostras, o gráfico da Figura 8 apresenta esses valores.

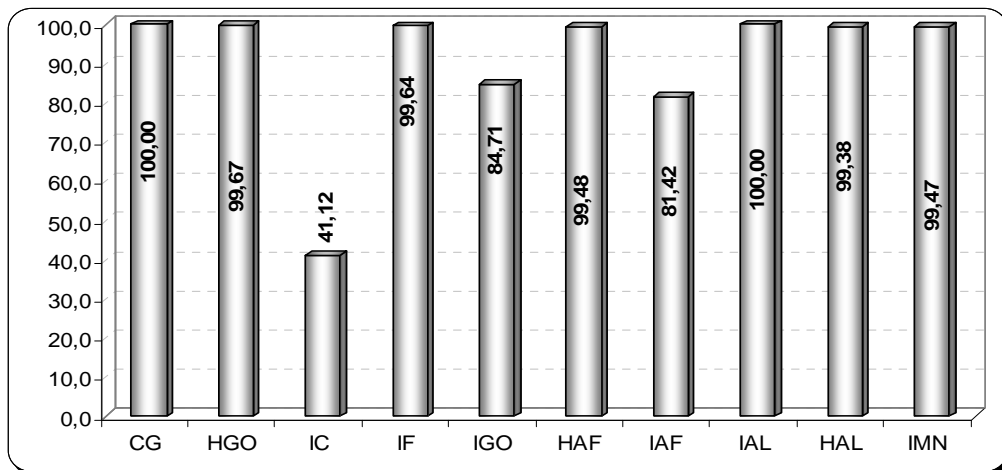
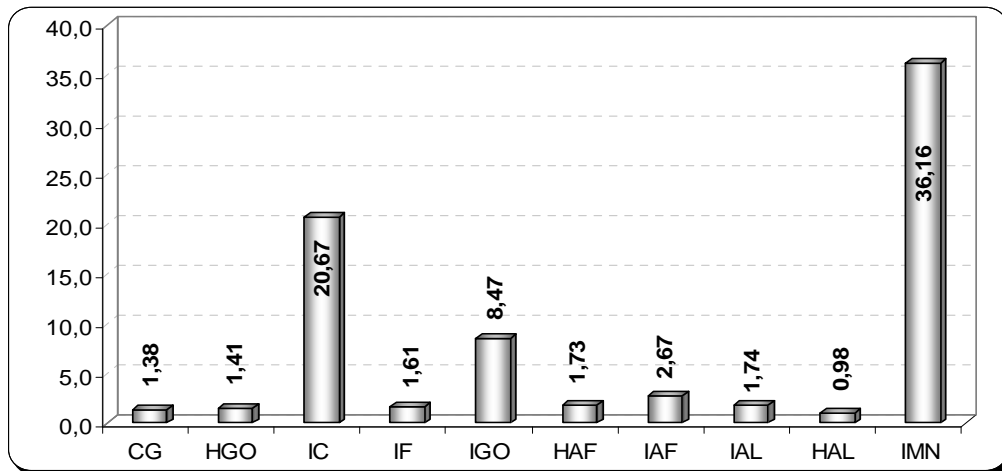


Figura 8. Fração -1,0+0,21mm - Grau de Liberação do Quartzo.

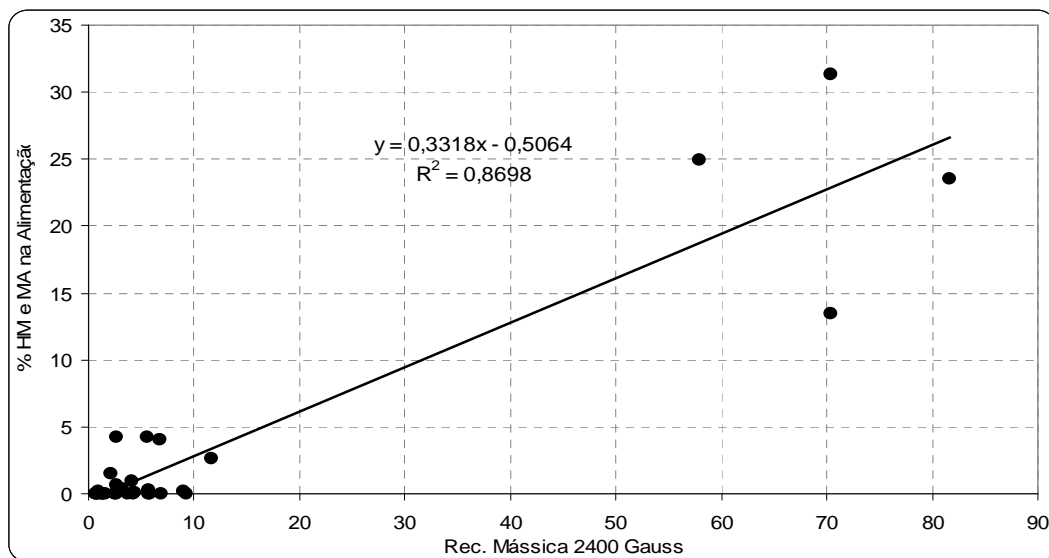
Os campos de 2.400 Gauss e 6.000 Gauss adotados para simular as etapas de concentração magnética de baixa e alta intensidade foram definidos a partir de estudos anteriores. Vale ressaltar que as qualidades obtidas nesses testes são um indicativo da qualidade química não podendo ser utilizado para *scale up* industrial. O gráfico da Figura 9 apresenta o teor de SiO<sub>2</sub> no concentrado final, mostrando que apenas as tipologias Itabirito goethítico e compacto não apresentaram bons resultados devido ao baixo grau de liberação e observou-se em uma das amostras do itabirito compacto a presença de quartzo com inclusões de hematita. O resultado

da tipologia itabirito manganífero indica a necessidade de mais um estágio de concentração magnética para adequar a qualidade de SiO<sub>2</sub> do concentrado final.



**Figura 9.** Fração -1,0+0,21mm – SiO<sub>2</sub> concentrado.

Nesta faixa, onde o equipamento utilizado foi o separador magnético L4, os resultados apresentados na figura 10 mostram muito bem a eficácia no campo de 2.400 Gauss, para reter o material magnético pela presença da magnetita e martita, bem como partículas de minerais de ferro associadas às magnetitas na forma reliquiar (ou relictual, residual), a prática industrial mostra que este valor varia de 5% a 30% em volume da população de partículas.<sup>(4)</sup> Nota-se que na maioria das amostras, a quantidade desses minerais é praticamente nula no rejeito.



**Figura 10.** Fração -1,0+0,21mm – %HM e MA na AL X Recuperação Mássica no Campo de 2.400 Gauss.

Outro ponto importante a ser analisado (Figura 11) está no fato da massa magnética não estar relacionada a um determinado litotipo, ou seja, dentro de um mesmo litotipo as amostras possuem uma variação representativa em relação a massa magnética retida no campo de 2.400 Gauss.

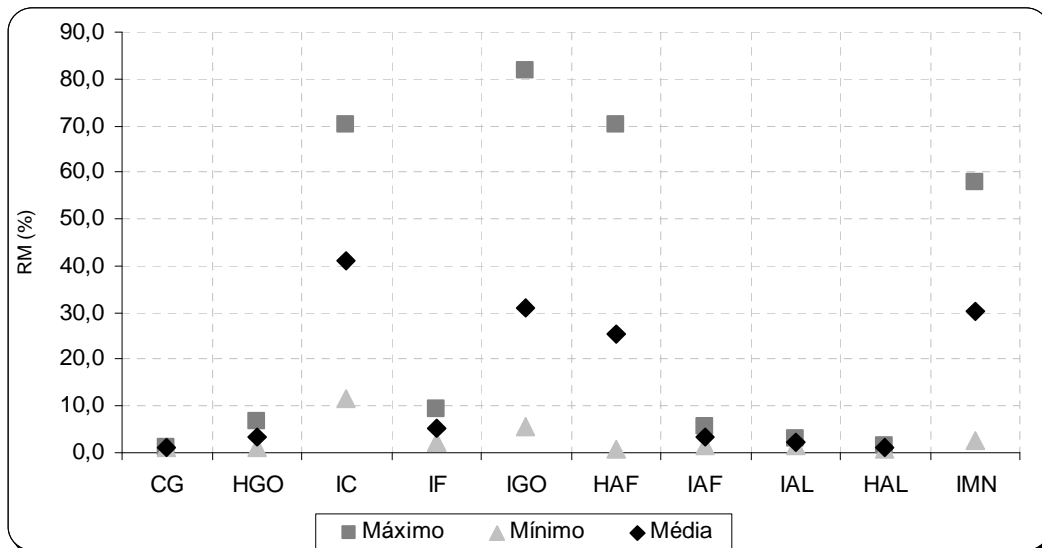


Figura 11. Fração -1,0+0,21mm – Valores máximo, médio e mínimo de Recuperação em Massa no Campo de 2.400 Gauss.

### 3.4 Fração -0,21mm

As amostras foram submetidas a dois estágios de deslamagem com dispersão em pH 9,8 utilizando soda cáustica. Verificou-se que os minerais que influenciam na elevação do percentual de lama são a goethita terrosa, gibsitita e caulinita. A perda de material nas lamas evidencia a influencia desses minerais (Figura 12).

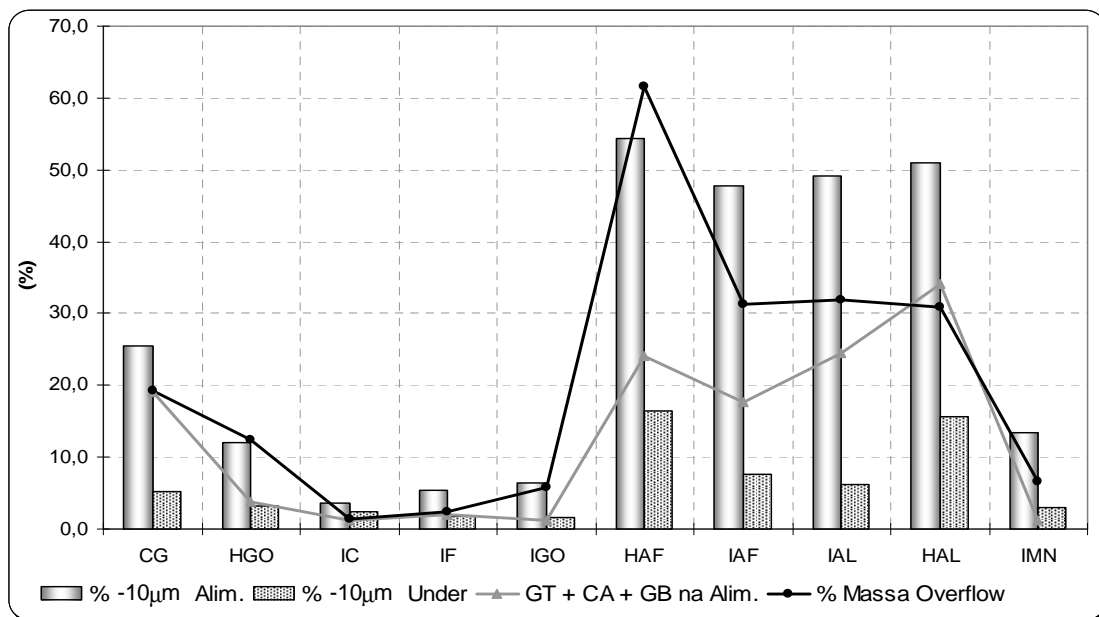


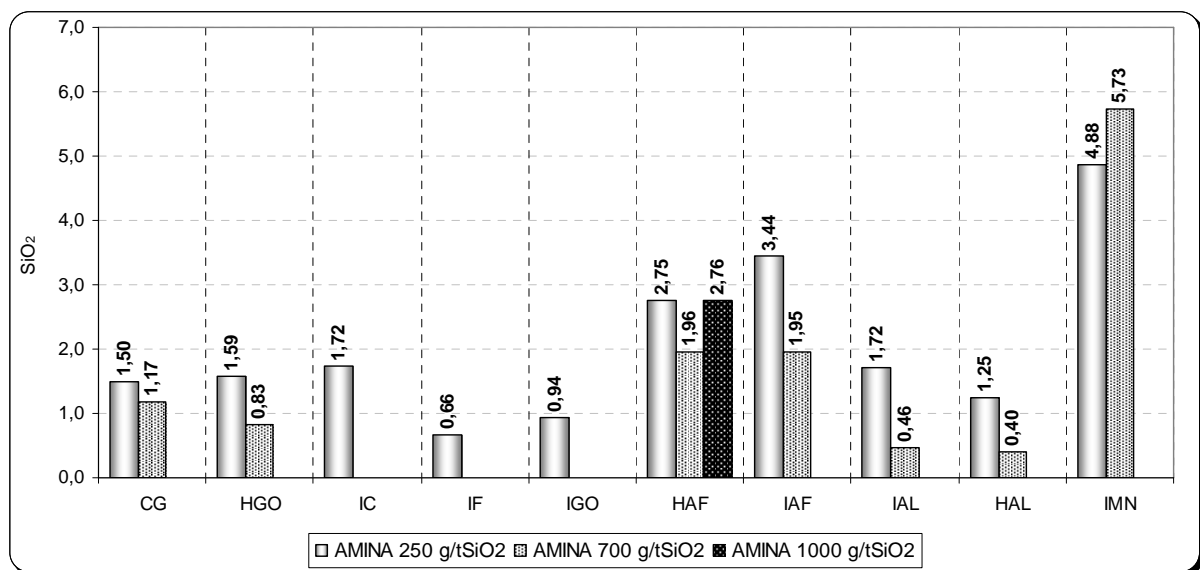
Figura 12. % Lama X Minerais Aluminosos X Deslamagem.

A Figura 13 apresenta o resultado do teor de  $\text{SiO}_2$  no *pellet feed*. Algumas amostras componentes dos litotipos não obtiveram bons resultados como comentado a seguir.

- Litologia itabirito compacto:



- amostra 1: grau de liberação da fração  $-0,21+0,075$  mm baixo e essa fração representa a maior proporção em massa na alimentação da flotação;
- amostra 2: apesar do grau de liberação adequado ao processo de concentração, os resultados sugerem necessidade de adequação na dosagem de coletor.
- Litologia hematita anfíbolítica: elevado percentual de lama na alimentação da flotação.
- Litologia itabirito anfíbolítico:
  - amostra 1: elevado percentual de lama na alimentação da flotação.
  - amostras 2 e 3: apesar do percentual de lama não ser muito elevado, os resultados indicam a necessidade de realização de estudo mais detalhado no processo de deslamagem, pois essas amostras apresentam um teor elevado de goethitas e presença de caulinita e gibsita.
- Litologias aluminosas: elevado percentual de lama na alimentação da flotação.
- Litologia itabirito manganésífero: elevado percentual de lama na alimentação da flotação. A presença dos contaminantes  $TiO_2$ ,  $MgO$  e  $Mn$ , apesar de seus pequenos teores na alimentação, podem provavelmente inibir a ação dos reagentes tanto na deslamagem quanto na flotação.



**Figura 13.** Fração  $-0,21$ mm – Teor  $SiO_2$  *pellet feed*, litotipo e dosagem de amina.

O gráfico da Figura 14 apresenta a dosagem de coletor em função do teor de  $SiO_2$  na alimentação da flotação. Para as amostras mais ricas é necessária maior dosagem de coletor para obtenção de *pellet feed* com qualidade de redução direta.

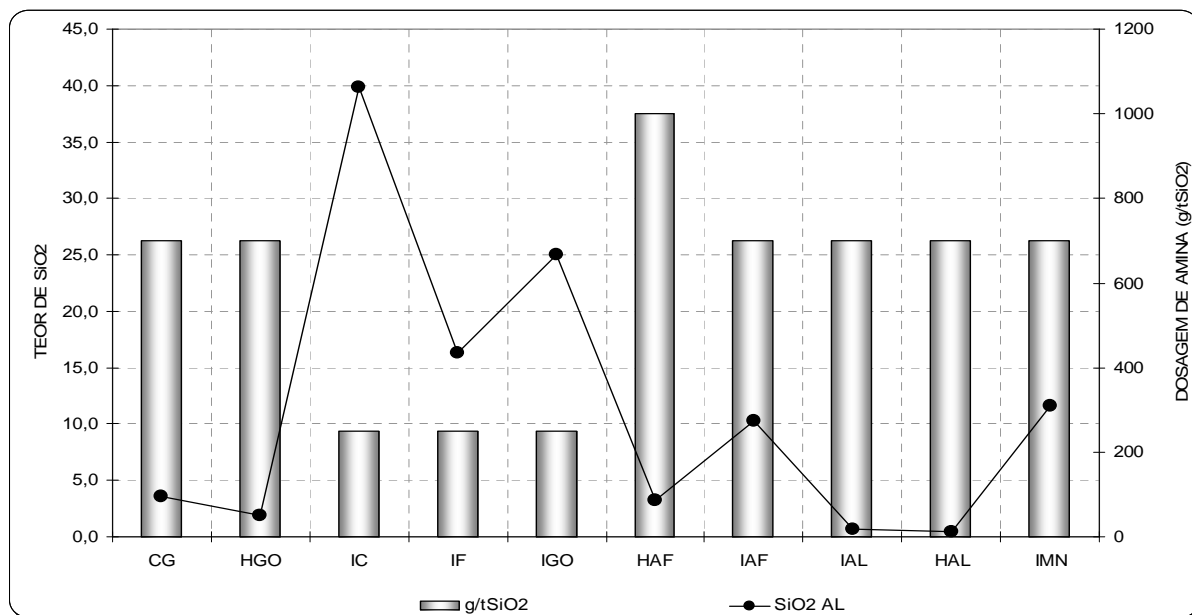


Figura 14. Fração -0,21mm – Dosagem de Coletor.

#### 4 CONCLUSÕES

- O estudo realizado mostrou que algumas litologias não favorecem a geração de produtos com qualidade química adequada, sendo elas: itabirito compacto, anfíbolítico, manganesífero e aluminoso e as hematitas anfíbolítica e aluminosa por apresentarem altos teores de contaminantes.
- O grau de liberação do quartzo apresenta-se baixo para a litologia itabirito compacto e uma amostra da litologia itabirito goethítico, não sendo possível a obtenção de *sinter feed* com qualidade.
- Na fração intermediária, notou-se que o teste no separador magnético utilizando o campo de 2.400 Gauss, foi bastante eficaz no sentido de se quantificar a massa magnética, podendo este ser um teste a ser aplicado nas amostras de curto prazo, pois é rápido e necessita de pouca massa. Existe a necessidade de se aplicar este teste uma vez que esta variável possui grandes variações, elevada amplitude, dentro de um mesmo litotipo, não sendo portanto distinguível visualmente na mina e também não mostra nenhuma correlação com variáveis químicas.
- Os percentuais de goethita terrosa, caulinita e gibsita são as principais fontes de geração de lama (material abaixo de 10 micrômetros), além de contribuir como uma fonte de SiO<sub>2</sub>. Por isso, é importante um processo eficiente de deslamagem do material para não afetar a performance da flotação.

#### Agradecimentos

À VALE, que proporcionou a realização deste trabalho e disponibilizou os dados para apresentação, às equipes do CPT (Centro de Pesquisas Tecnológicas); Geologia; Engenharia de Processos Curto e Longo Prazo do complexo Brucutu.

## REFERÊNCIAS

- 1 SANTOS, L. D., BRANDÃO, P. R. G, PERES, A. E. C. Caracterização Mineralógica de Minérios de Ferro Enfatizando a Determinação de Fases Aluminosas. Revista Metalurgia e Materiais, Caderno Tecnológico – Tecnologia Mineral, São Paulo, v.58, n.519, p.12-17, 2002.
- 2 MEMÓRIA TÉCNICA GADMF: \\ cvrdbhzsa01 \ dados \ Área \ Desenvolvimento\_Processos \ GADMF \ DIFS \ \_Estudos\Suporte Processo \ RT GADMF N0032\_Suporte Usina de Brucutu\_REV 00.doc.
- 3 Endo I., Silva A., Mariano D., Espinoza R., Lopes A., Angeli G. 2008. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural de Brucutu e Dois Irmãos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Relatório Interno. VALE/UFOP. 54p.
- 4 QUEIROZ, L. A. Caracterização de minérios da Mina de Brucutu,VALE, focada na previsibilidade das operações de concentração mineral. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008, 355 p. (Tese de Doutorado, Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Área de Tecnologia Mineral).