

AVALIAÇÃO GEOMETALÚRGICA DE AMOSTRAS DA SERRA DO SAPO¹

Henrique Dias Gatti Turre²
Fabiano Henrique Pereira Gonzaga²
Julio César da Silva²
Kessius Bortolan Menezes²
José Antônio de Almeida²
Edilson Yoshiyuki Sawasato²
Fernando Rosa Guimarães²
Carlos Roberto Magalhães²
Geraldo Sarquis Dias²

Resumo

O conhecimento da qualidade química do minério não garante previsibilidade do comportamento do mesmo no processamento mineral. Comumente, outras variáveis como mineralogia, flotabilidade etc., possuem forte efeito no desempenho metalúrgico e não são correlacionáveis com a composição química. Nesses casos, o modelamento geometalúrgico de um depósito se torna uma ferramenta de fundamental importância para o planejamento de produção. O Projeto Minas-Rio da AngloAmerican, com capacidade para produção de 24,5 milhões de toneladas por ano de *pellet feed*, contempla a lavra na jazida da Serra do Sapo em Conceição do Mato Dentro, MG. Objetivando-se aumentar o conhecimento do desempenho de processo dos primeiros anos de operação, foi realizada uma campanha de sondagem para geração de amostras representativas que pudessem ser testadas em ensaios de bancada. Os testes de bancada mostraram que poucas amostras apresentariam problemas para o atingimento das metas de projeto, se alimentadas em grandes proporções. Além disso, os resultados desses testes permitiram melhorar a qualidade das informações do modelo geometalúrgico já existente.

Palavras-chave: Processamento mineral; *Pellet feed*; Geometalurgia.

SERRA DO SAPO'S SAMPLES GEOMETALURGIC EVALUATION

Abstract

The iron ore chemical quality knowledge does not guarantee the mineral processing performance foreseen. In many cases, other variables such as mineralogy, flotability, etc. have strong effect in the metallurgic performance and they are not correlated with chemical composition. Commonly, the geometallurgical modeling is an important tool to the production planning. AngloAmerican's Minas-Rio Project, which has a pellet feed production capacity around to 24.5 million tons per year of product, contemplates the exploitation of Serra do Sapo's deposit at Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais. A drilling program was planned and executed to generate representative samples, which could be tested in lab scale, aiming to increase process performance knowledge in the first operation years. The tests showed only a few samples would jeopardize project targets achievement, if they were fed in big proportions. Moreover, the results allowed geometallurgic model improvement.

Key words: Mineral processing; Pellet feed; Geometallurgy.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Gerência Geral de Geologia, Planejamento e Processos, Projeto Minas-Rio, Anglo American. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O teor de ferro do minério alimentado em um concentrador é a variável mais significativa para o desempenho do processamento mineral do mesmo. Por isso, esse valor é medido e controlado com frequência. Contudo, outras características do minério de ferro, que não apresentam nenhuma correlação com sua composição química, também irão influenciar seu processamento, como por exemplo, o grau de liberação de suas partículas. Desse modo, a realização de testes em laboratório com amostras representativas da região a ser lavrada é uma importante ferramenta na previsão do comportamento do minério, pois constituem formas simples e muito assertivas de se obter esses resultados.

O conhecimento gerado por esses testes podem ser usados, juntamente com o conhecimento geológico do depósito, para melhorar, aumentar e expandir a previsibilidade do desempenho de processo durante o sequenciamento da lavra dos corpos mineralizados.

Um coeficiente de correlação de 95% foi obtido para a produção da moagem SAG entre os dados previstos pelo modelamento geometalúrgico e industriais. O desempenho na moagem foi determinado através de testes de Bond, testes de queda e de resistência à compressão. Essas informações foram alimentadas no modelo de blocos da jazida. Efeitos operacionais e de disponibilidade do sistema, não relacionados ao minério, foram ainda incorporados.⁽¹⁾

Um parâmetro de flotabilidade natural, que está correlacionado ao tipo do minério, foi determinado experimentalmente para prever a recuperação metalúrgica com um erro médio experimental de 1,8% entre os resultados experimentais e industriais.⁽²⁾

O Projeto Minas-Rio da AngloAmerican com previsão de início de operação no segundo semestre de 2014 possui capacidade de produção igual a 24,5 milhões de toneladas secas por ano de *pellet feed*. A usina de concentração, localizada no município de Conceição do Mato Dentro e Alvorá da de Minas, Minas Gerais, receberá minério extraído do depósito da Serra do Sapo. O fluxograma de tratamento é composto pelas etapas de britagem, moagem, deslamagem, flotação, remoagem e espessamento. A ausência de pilhas de homogeneização torna o conhecimento prévio do desempenho durante o tratamento mineral do minério ainda mais necessário.

Objetivando-se minimizar a possibilidade de ocorrência de possíveis problemas durante esse processamento e devido ao desconhecimento do mesmo, amostras obtidas em campanhas de sondagens são testadas no laboratório de processo. Os resultados gerados por esses testes podem ser então utilizados juntamente com o modelamento geológico do depósito, para predição do desempenho durante o processamento de todo ele e estabelecimento de regiões onde o minério apresente comportamento similar.

Nesse trabalho, buscou-se ainda validar a utilização de um grupo adicional de amostras obtidas por sondagem de circulação reversa, que apresenta maior produtividade, menor custo e maior geração de amostra por uma mesma metragem furada do que a sondagem diamantada. Essa amostragem se concentrou na região de lavra dos cinco primeiros anos de operação, que coincidentemente é mais rica em contaminantes. As informações adicionais geradas foram então usadas para melhorar o modelo geometalúrgico dessa região, preliminarmente desenvolvido apenas com informações provenientes de sondagem diamantada.⁽³⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de minério foram obtidas através de sondagem de circulação reversa, com broca de diâmetro igual a 50,5 ou 63,5 mm. Ao todo foram realizados 27 furos, totalizando 1.478 metros. A metade da amostra foi preservada, enquanto a outra metade foi dividida em quarteador rotativo, de forma que um quarto de cada amostra foi usado para compor as amostras de teste. As amostras foram compostas em intervalos de 15 m aproximadamente.

A moagem do material foi realizada segundo procedimentos sugeridos na literatura até obtenção de 90% passante na malha de 0,150 mm, o que permitiu a determinação do consumo energético da moagem primária.⁽⁴⁾

O produto da moagem foi deslamado em ciclone piloto com diâmetro de 2", Apex e vortex de, respectivamente, 4,8 e 13 mm. Na deslamagem, solução de soda cáustica foi adicionada até que a polpa, com 17 % de sólidos em peso, atingisse o pH de 11. A velocidade de bombeamento foi ajustada até a produção de um *underflow* com 50% de sólidos em peso.

Os testes de flotação foram realizados em cuba de 4,5 l com percentual de sólidos ajustado em 60 e 40 %, respectivamente, no condicionamento e na flotação. Foram utilizadas soluções a 1 % de amina EDA-C da Clariant e amido de milho da Kowaski. Amina foi adicionada em três níveis de dosagens. Amido foi gelatinizado com soda cáustica na relação de 5:1 e dosado em somente um nível. O pH da polpa foi ajustado para 10,5 com soda cáustica. O amido foi condicionado por 5 minutos antes da adição da amina, que foi condicionada por 1 minuto. A agitação foi controlada em 1.300 e 1.500 rpm, respectivamente, no condicionamento e na flotação. A coleta do material flotado aconteceu por 6 minutos após início da aeração.

Ensaio granulométrico à úmido foram realizados em vibrador suspenso com peneiras da série Tyler.

Os ensaios para determinação da composição química das amostras foram realizados por fluorescência de raios-X de pó prensado ou, em alguns casos, de pastilha fundida com equipamento Axios da Panalytical. A perda ao fogo foi determinada por calcinação em mufla, a 1.100°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras foram classificadas tipologicamente segundo árvore de decisão do projeto Minas-Rio, que se baseia nos teores de ferro, fósforo e alumina, além da descrição visual do testemunho. Grande parte das amostras foi classificada como itabirito friável (IF), com pequena participação de cangas mineralizadas (CGM), localizadas nas porções superficiais dos furos, seguido de quartzito ferruginoso (QF), itabirito friável com alta alumina (IFX) e hematita (HM).

As análises granulométricas mostraram que a obtenção das amostras por sondagem com circulação reversa ocasionou uma fragmentação excessiva do material, ou seja, as amostras apresentaram uma distribuição granulométrica muito menor do que a projetada (Figura 1). Por isso, os testes de moabilidade resultaram em baixos consumos energéticos. Isso mostrou que a utilização dessa técnica de sondagem, apesar de apresentar muitas vantagens em relação à sondagem diamantada, não permitirá a previsibilidade do consumo energético na moagem primária.

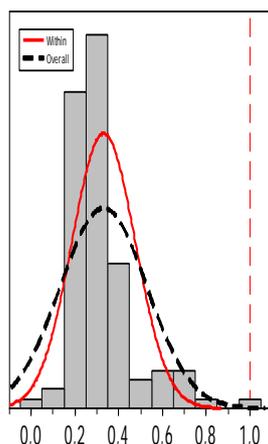


Figura 1. Distribuição do F80 (mm) das amostras alimentadas nos testes de moagem.

Foi observada uma nítida tendência de redução na recuperação da deslamagem em função do teor de alumina do minério. Essa correlação apresentou um baixo coeficiente de correlação, mas um alto nível de significância, indicando a existência de outros ruídos que também estariam influenciando a variável resposta. Além disso, foi observado um efeito significativo da tipologia na recuperação da deslamagem. Essa afirmação, confirmada por análise da variância dos resultados, pode ser melhor visualizada na Figura 2.

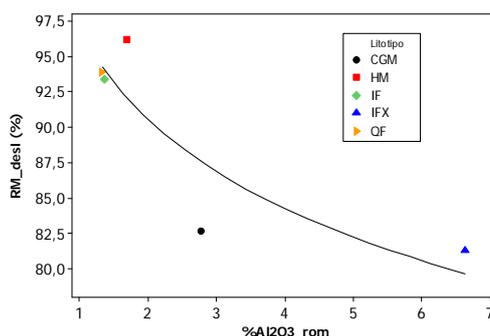


Figura 2. Resultados médios dos teores de alumina no minério e recuperações.

Os resultados de flotação considerados para cada amostra foram àqueles obtidos com a dosagem de amina necessária para atender a especificação. No caso em que em nenhum dos níveis essa qualidade foi obtida, adotou-se aquele que resultou no número mais próximo do limite máximo de sílica no concentrado.

O desempenho na flotação (Figura 3a), mostrou que a grande maioria das amostras apresentou um desempenho acima do esperado, com resultados no quadrante inferior esquerdo do gráfico. Litologias com baixo percentual de ferro (principalmente QF) apresentaram elevada sílica, mesmo no maior nível de dosagem de amina. Litologias com alto percentual de alumina (CGM e IFX) apresentaram baixos teores de sílica no concentrado, com baixa recuperação metalúrgica. A única que teve comportamento distinto, com elevado teor de sílica, apresentava teor de ferro bem inferior às demais. De uma forma geral, as amostras de IFX e CGM ainda apresentaram recuperação mássica global muito baixo do desejado, linha pontilhada da Figura 3b.

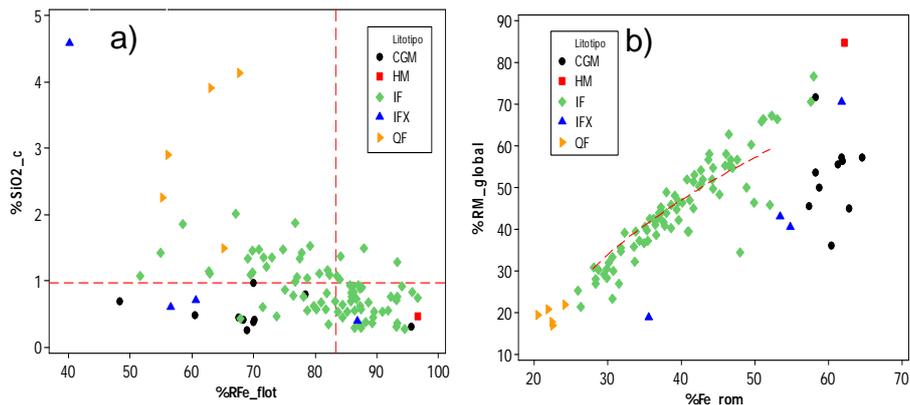


Figura 3. Desempenho na flotação (a) e global (b) das amostras testadas.

Contudo, essas litologias não irão compor proporções significativas da alimentação do concentrador. Os blocos classificados como QF, compõem o estéril, enquanto aqueles classificados em IFX e CGM serão, inicialmente, estocados. No futuro, serão alimentados em quantidades controladas com baixas proporções.

A maioria das amostras, 80%, apresentou baixo teor de alumina no concentrado, ou seja, menor que 0,5%. Uma pequena porção, 8%, apresentou elevados teores, ou seja, maior que 1,0% (Figura 4a). Mais uma vez, as litologias das amostras que apresentaram esses valores foram CGM e IFX, com elevados teores de alumina no minério. As amostras de IFX apresentaram uma baixa recuperação de alumina no concentrado, ao contrário das amostras de CGM. Dessas últimas, menos da metade teve uma maior recuperação desse elemento nas lamaz.

Todas as amostras que apresentaram alta alumina no concentrado, com exceção de uma de IFX, também apresentaram alto percentual de fósforo. Foi observada uma forte correlação entre o teor de fósforo no minério com seu teor no concentrado, Figura 4b, em praticamente todas as litologias.

Na campanha de sondagem de circulação reversa, que produziu as amostras dos resultados discutidos neste trabalho, foram realizados três furos gêmeos a outros executados na campanha de sondagem diamantada, realizada para geração das amostras que foram usadas no primeiro modelamento geometalúrgico do depósito. Desse modo, foi possível comparar o resultado de seis amostras, com distância máxima de 11 m. Não foram observadas diferenças significativas nesses resultados, o que seria um indicativo da existência de ruídos entre os testes das duas etapas. A grande maioria das variáveis apresentou uma alta correlação entre os resultados obtidos por essas amostras gêmeas conforme ilustrado na Figura 5.

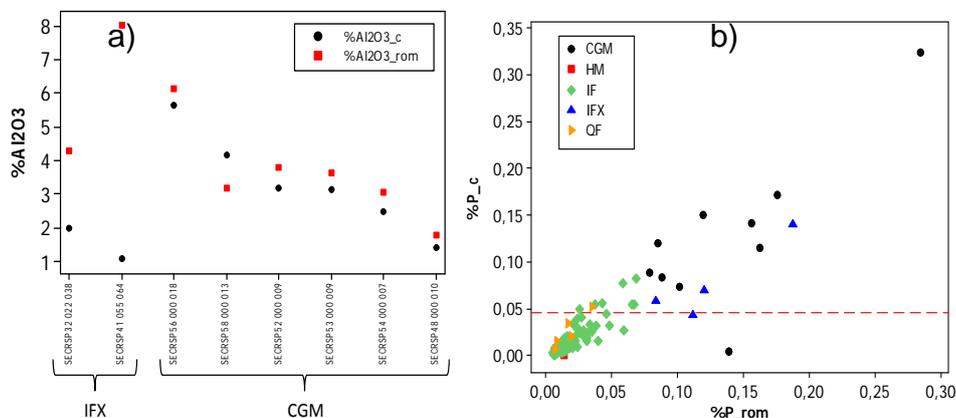


Figura 4. Amostras que apresentaram elevado teor de alumina no concentrado (a) e correlação do fósforo no minério com o seu teor no concentrado (b).

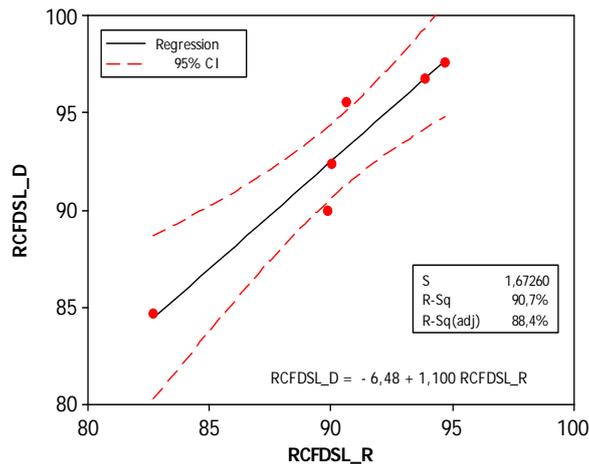


Figura 5. Comparação dos resultados de recuperação metalúrgica na deslamagem obtidos com as amostras gêmeas obtidas na sondagem reversa (RCFDSL_R) e diamantada (RCFDSL_D).

Somente a dosagem de amina resultou num coeficiente abaixo do desejado. Contudo, suspeita-se que o procedimento para definição da dosagem ótima de amina, feito a partir dos resultados de flotação, não seja o mais apropriado. Novas formas estão sendo avaliadas, como por exemplo, obtenção de uma correlação entre dosagem de amina e teor de sílica do minério, uma vez que essa última variável é medida em um número muito maior de amostras e, por isso, estimada com uma precisão muito maior.

Os resultados dos testes foram então utilizados para estimar o modelo geometalúrgico, que passou a contemplar as seguintes variáveis: recuperações em massa e metalúrgica da flotação, deslamagem e global, teores de ferro, sílica, alumina e fósforo das lamas, alimentação da flotação, rejeito e concentrado.

De uma forma geral, as incertezas associadas as estimativas do novo modelo ficaram muito próximas as do modelo anterior, para uma mesma região. Na grande maioria dos casos, o resíduo, calculado pelo somatório dos quadrados das diferenças entre os valores medidos e experimentais, dos dois modelos não apresenta alteração significativa. Contudo em alguns casos (Figura 6), foi percebido uma melhoria significativa.

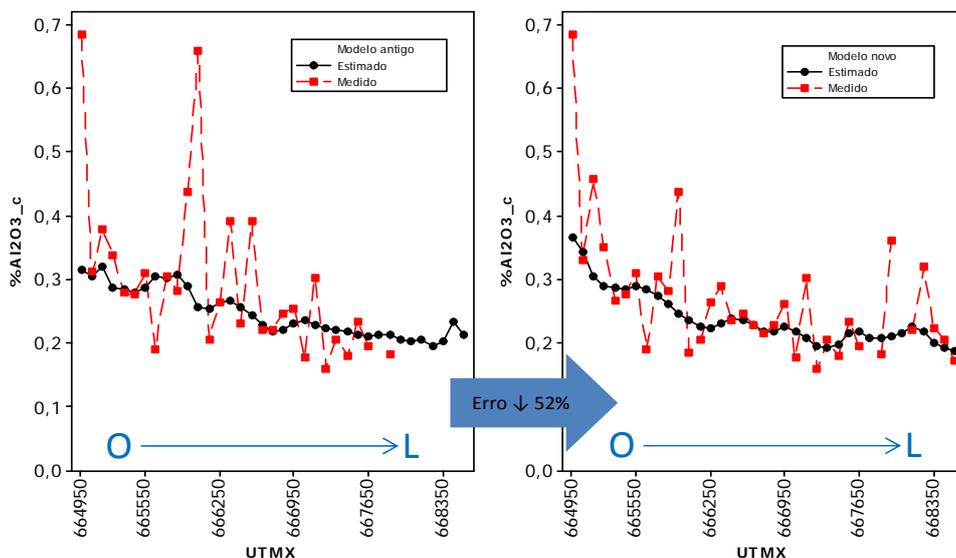


Figura 6. Análise de deriva das estimativas para teor de alumina no concentrado pelos dois modelos, na direção oeste – leste.

Com isso, foi possível afirmar que o novo procedimento, que consiste resumidamente na obtenção de amostras obtidas por perfuração reversa, realização de testes em laboratório próprio e utilização de cálculos e interpretações geológicas, pode ser aplicável na geração de dados para melhoria do modelo geometalúrgico. Por fim, com o modelo geometalúrgico atualizado, foi possível visualizar onde estão os minérios com melhor desempenho metalúrgico conforme ilustrado na Figura 7.

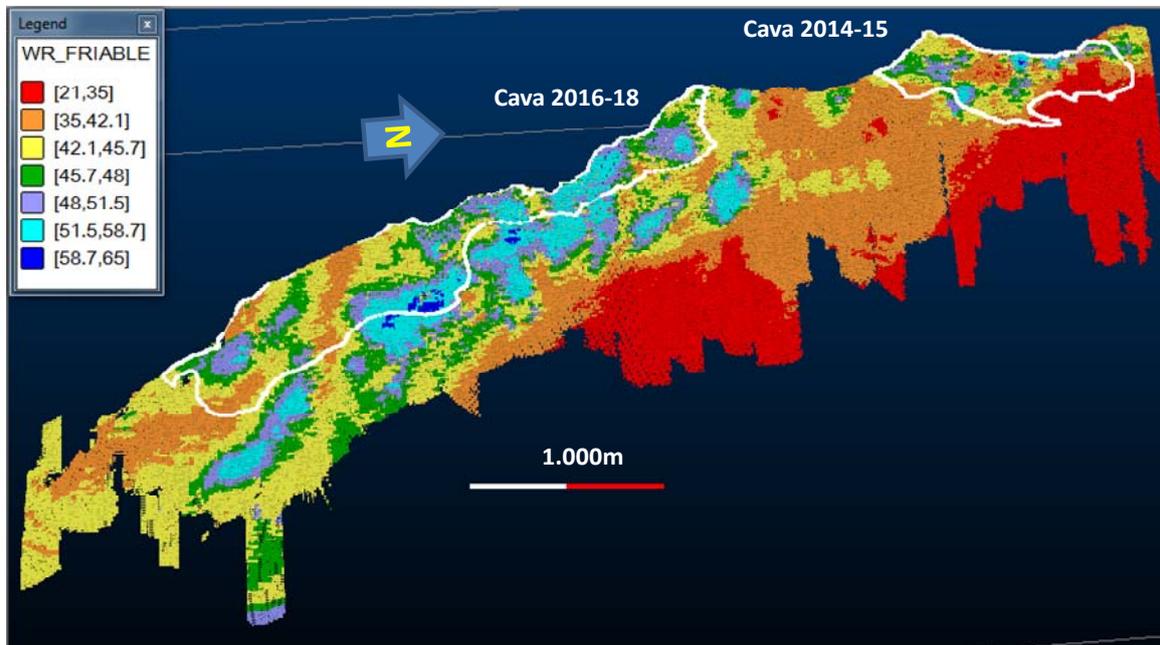


Figura 7. Modelo geometalúrgico da porção norte da jazida do Sapo para a recuperação em massa global.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o novo procedimento foram similares aos obtidos com o procedimento anterior para o modelamento geometalúrgico da jazida da Serra do Sapo. Contudo geraram uma redução de custo significativa e melhoraram a resolução e qualidade da estimativa.

O processamento mineral das amostras obtidas na região prevista para lavra nos cinco primeiros anos de operação do Projeto Minas-Rio mostrou grande aderência aos números considerados pelo Projeto. Foram obtidos desvios significativos somente em casos pontuais em que a amostra possui características muito especiais e que, por isso mesmo, irá participar em pequena quantidade na composição do ROM de alimentação.

Agradecimentos

Os autores gostariam de registrar o agradecimento aos colegas de Anglo American Aginaldo Pereira Sander, Junio Simões Pereira, Marcelo de Castro, Naldio da Silva Vertelo, Rodrigo Faustino Gomes pela dedicação, esforço e comprometimento na realização dos testes.

REFERÊNCIAS

- 1 ALRUIZ, O.M.; MORRELL, S.; SUAZO, C.J.; NARANJO, A. (2009) A novel approach to the geometallurgical modelling of the Collahuas grinding circuit. *Minerals Engineering*, v.22, p.1060-1067.
- 2 SUAZO, C.J.; KRACHT, W.; ALRUIZ, O.M. (2010) Geometallurgical modelling of the Collahuasi flotation circuit . *Minerals Engineering* 23 137–142.
- 3 FLORES, L.; ROMERO, M; PRIETO, S.; DAGBERT, M.; SAVASSI, O.; MAGALHÃES, C.; GUIMARÃES, F.R. (2012) Case study of Geometallurgical block modeling of mass recovery at the Minas Rio Project, Brasil. *Geomet Conference*, Chile.
- 4 DONDA, J. D. (2003) Um método para prever o consumo específico de energia na (re)moagem de concentrados de minérios de ferro em moinhos de bolas. Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, 47p.