



BRITAGEM DOS GRANULADOS DA USIMINAS MINERAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE SINTER FEED E PELLET FEED ¹

*Pedro Henrique Domingos Meijon Souza*²

*Emir Birro de Castro*³

*Antonio Schettino Gomes Pereira*⁴

Resumo

A Serra Azul está localizada na parte oeste do Quadrilátero Ferrífero, na região central do estado de Minas Gerais. Hoje existem grandes empresas estão instaladas nesta serra e, devido à escassez de minérios com alto teor de ferro, os itabiritos friáveis estão sendo estudados com a finalidade de se produzir, a partir deles, concentrados com alto teor de ferro. De acordo com a especificação dos granulados, comparada com os dados históricos de produção, pode se observar que os granulados apresentam resultados atendem parcialmente os requisitos de qualidade exigidos pelas usinas de Ipatinga e Cubatão, gerando grande quantidade de material estocado. Dessa forma, avaliou-se através deste estudo a possibilidade de cominuição dos granulados produzidos atualmente na Mina Oeste, Central e Leste a fim de concentrá-los na fração Sinter Feed e Pellet Feed.

Palavras chaves: Granulados; Britagem; Concentração.

CRUSHING OF USIMINAS LUMP ORE TO GENERATION SINTER FEED AND PELLET FEED

Abstract

The Serra Azul range is located in the west part of the Quadrilátero Ferrífero, in the central region of the state of Minas Gerais. Today big mining companies are installed in this mountain range and, due to the shortage of ores with high iron content, the friable itabirites have being studied with the purpose of produce concentrates with high Fe content. In accordance with the specification of the Lump Ores, compared with the historical data of production, can be observed that the iron content of the lump ores do not achieve the requirements of quality demanded by the plants of Ipatinga and Cubatão, generating great amount of stored material. Due to this great volume of Lump Ores out of specification, a study was made to evaluate the possibility to produce sinter feed and pellet feed from crushing the Lump Ores from West, Central and East Mines.

Key-words: Lump ores; Crushing; Concentration.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Engenheiro de Minas – Usiminas Mineração

³ Engenheiro de Minas, M.E.- Especialista em Processos - Usiminas Mineração

⁴ Engenheiro de Minas – Usiminas Mineração

1 INTRODUÇÃO

A Serra Azul está localizada na parte oeste do Quadrilátero Ferrífero, na região central do estado de Minas Gerais.

As reservas do Sistema Serra Azul, desde o século XIX atraem garimpeiros e mineradoras interessados no ouro, no topázio, na bauxita e no minério de ferro. Até há pouco tempo, porém, a exploração ficava nas mãos de pouco mais de uma dezena de pequenas e médias mineradoras, todas de capital familiar/nacional.

Hoje grandes empresas estão instaladas nesta serra e devido à escassez de minérios com alto teor de ferro, os itabiritos friáveis (recursos em quantidade relativa nesta região) estão sendo estudados com a finalidade de se produzir a partir deles concentrados com alto teor de ferro.

Os itabiritos friáveis possuem teor de ferro que varia entre 30% e 45%. Para concentrar o ferro e obter um concentrado final com teores de sílica dentro dos padrões de mercado, este minério necessita ser britado e concentrado.

Sendo a cominuição uma etapa crítica para o desenvolvimento de uma rota de processo robusta para estes minérios, a mesma está sendo caracterizada e os seus resultados são mostrados neste trabalho.

A distribuição granulométrica dos granulados das minas é função das telas utilizadas nas peneiras de classificação, a observar que, na Mina Oeste e na Mina Leste o granulado grosso está na faixa - 40,0 + 25,4 mm e o fino - 25,4 + 12,5 mm, e, atualmente, estes dois produtos estão sendo blendados, formando apenas um produto, denominado Granulado. Na mina Central, os granulados são classificados em grosso e fino, - 40,0 + 12,5 mm e - 12,5 + 6,3 mm, respectivamente, e, atualmente na Mina Central existe a classificação em dois produtos, Granulada Grosso e Granulado Fino.

De acordo com a especificação dos granulados, comparada com os dados históricos de produção, pode-se observar que os granulados apresentam resultados que não atendem ou atendem parcialmente os requisitos de qualidade exigidos pelas usinas de Ipatinga e Cubatão, gerando grande quantidade de material estocado, a princípio sem utilidade.

Tabela 1: Especificação de Qualidade dos Granulados - Usinas I e II

Especificação Granulados – Usinas I e II					
Análise Química					
Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)
59,50	9,00	0,070	-	2,10	2,17

Tabela 2: Especificação de Qualidade dos Granulados - Mercado Guseiro

Especificação Granulados – Mercado Guseiro					
Análise Química					
Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)
> 59,50	< 10,00	-	-	< 2,50	-

Dessa forma, avaliou-se através deste estudo a rebitagem de toda a massa de granulados, migrando essa massa para a fração Sinter Feed e Pellet Feed, concentrando estes fluxos.

Foi preparado um roteiro para estes testes, com britagem, peneiramento/classificação, jigagem, separação magnética, espirais e flotação, que durante o desenvolvimento dos trabalhos, a medida da necessidade, alguns destes procedimentos poderiam ser adaptados conforme acordo prévio.

2 METODOLOGIA

2.1 Amostragens

Foram amostrados lotes distintos da produção de granulados nas Minas Oeste, Central e Leste.

Os lotes selecionados para a amostragem dos granulados nas minas foram escolhidos segundo alguns critérios:

- disponibilidade para amostragem;
- localização/facilidade para amostragem; e
- características semelhantes ao histórico (média) de produção.

Desta forma têm-se, para a Mina Oeste, os lotes 056 e 091, cuja qualidade é apresentada abaixo:

Tabela 6: Qualidade dos lotes amostrados Mina Oeste

LOTE	DATA	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	Massa (t)	Observações:
056	21/01/2010	58,91	10,95	0,047	0,247	1,77	2,45	19.539	~500 kg
091	17/01/2010	58,75	11,37	0,060	0,049	1,76	2,58	7.703	~500 kg

Para a Mina Central, têm-se os lotes 061 e 064, cuja qualidade segue abaixo:

Tabela 7: Qualidade dos lotes amostrados Mina Central

LOTE	DATA	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	Massa (t)	Observações:
061	31/07/2009	58,88	9,44	0,045	0,043	3,09	3,12	14.622	~500 kg
064	22/09/2009	59,05	10,15	0,055	0,066	2,41	2,46	8.931	~500 kg

Finalmente, para a Mina Leste, tem-se apenas o lote 011, com a seguinte qualidade:

Tabela 8: Qualidade dos lotes amostrados Mina Leste

LOTE	DATA	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	Massa (t)	Observações:
11	15/10/2009	56,18	14,41	0,050	0,111	2,41	2,53	7.010	~1.000 kg

Assim, para cada mina, coletaram-se incrementos dos seus respectivos lotes, totalizando aproximadamente três toneladas de granulados, com cerca de uma tonelada de cada mina.

2.2 Testes de Processo

De acordo com o objetivo deste estudo, foi elaborado o seguinte roteiro para os testes de processo com estes granulados:

- britagem para redução de toda a massa abaixo de 6,35 mm;
- peneiramento/classificação em 1,00 mm, encaminhando a fração - 6,35 + 1,00 mm para testes de concentração em Jigue;

- peneiramento/classificação da fração - 1,00 mm em 0,15 mm, encaminhando esta fração (- 1,00 + 0,15 mm) para testes de concentração em Espirais e Separação Magnética;
- deslamagem da fração - 0,15 mm e encaminhar toda a massa deslamada (Underflow) para testes de flotação.

De acordo com este roteiro, tem-se o fluxograma simplificado a seguir:

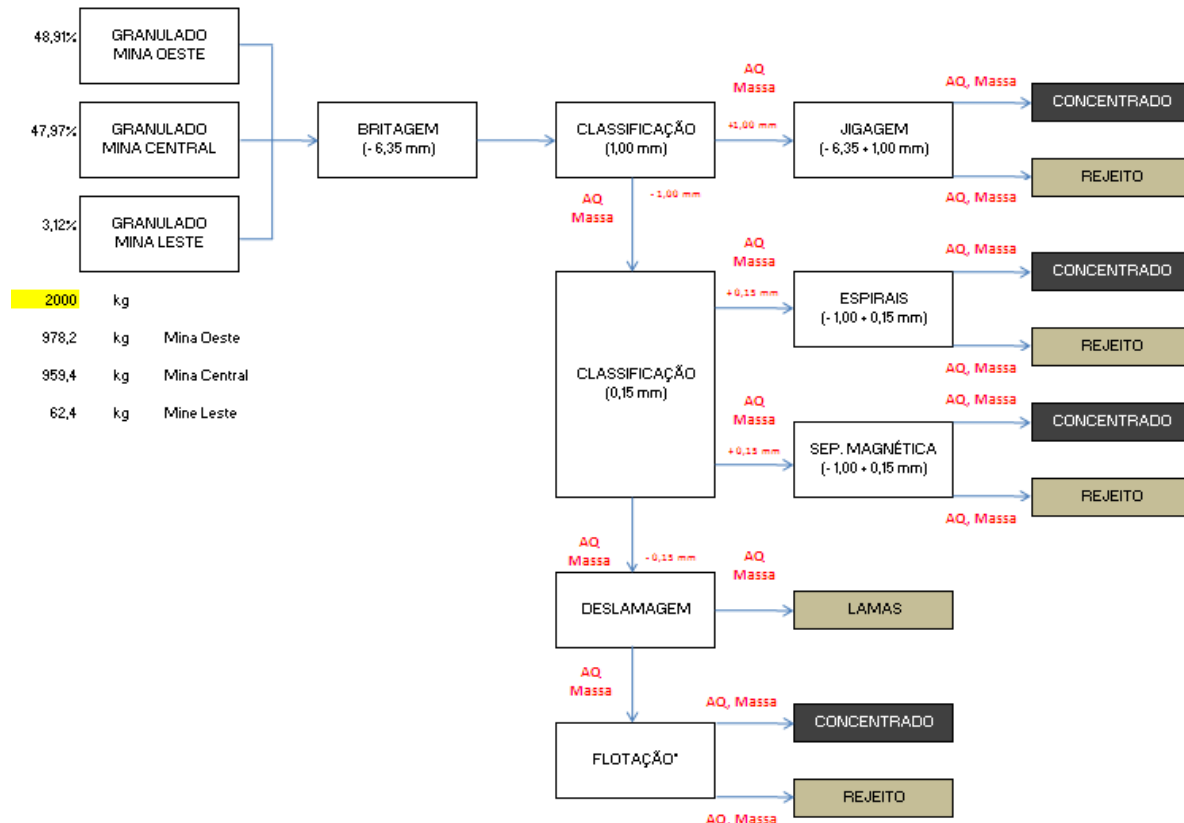


Figura 1: Fluxograma simplificado para os testes de processo.

Algumas observações foram feitas para estes testes:

- respeitar a proporção de massas assinalada no fluxograma e indicada no projeto;
- havendo massa realizar o teste de flotação; e
- pesar todas as frações que forem sendo geradas e separar as amostras de alimentação, concentrado e rejeito dos testes para análises químicas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o roteiro programado, respeitando proporções, tem-se: 48,9% (978 kg) para a Mina Oeste, 47,9% (959 kg) para a Mina Central e 3,12% (60 kg) para a Mina Leste.

Toda essa massa foi cominuída a - 6,35 mm e, de acordo com o roteiro proposto, esse material foi classificado em 1,00 mm e 0,15 mm, gerando a seguinte partição de massa:

Tabela 9: Partição de massa

Fração	Partição de Massa	Massa (kg)
- 6,35 + 1,00 mm	71,5 %	1.430
- 1,00 + 0,15	22,5 %	450
- 0,15 mm	6,0 %	120

A fração - 6,35 + 1,00 mm foi encaminhada para testes de concentração em Jigue, a fração - 1,00 + 0,15 mm foi direcionada para testes de concentração em Separadores Magnéticos (Tambores) de média intensidade e Espirais Concentradoras, e finalmente, a fração - 0,15 mm foram encaminhadas para testes de flotação, passando, antes do teste, por uma deslamagem.

Vale ressaltar que todos os testes - Jigagem, Separação Magnética e Espirais - foram realizados em apenas uma única etapa, desta forma, observando os teores gerados nos rejeitos, caberia alguma(s) etapa(s) para melhoria de qualidade destes materiais.

O Balanço de Massa simplificado dos testes com informações relevantes a cada etapa estudada, as respectivas análises químicas das alíquotas geradas durante o processo, além das simulações com a produção em 2009, seguem anexo ao relatório.

3.1 Jigagem

O jigue utilizado nos testes é do tipo Remmer, possui uma taxa de alimentação em torno de 200 kg/h e um leito forrado com o próprio material.

O equipamento é de fácil manuseio e as suas variáveis operacionais são basicamente a granulometria do material que alimentará o equipamento, condicionada a faixa - 6,35 + 1,00 mm, a frequência e deslocamento de pulsação do leito, água e o leito do jigue.

O resumo do teste é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 10: Resumo dos Testes - Jigue

Fluxo	Análise Química						Rec. Mass.	Rec. Fe
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)		
Alimentação	59,69	9,45	0,056	0,058	2,42	2,61	-	-
Concentrado	63,30	6,34	0,046	0,035	1,58	1,76	76,1 %	80,7 %
Rejeito	48,19	19,36	0,088	0,131	5,07	5,32	23,9 %	-

E de acordo com os dados apresentados acima, tem-se ainda:

- $Re_{SiO_2} = 0,67$;
- $Re_{Al_2O_3} = 0,65$;
- $Re_P = 0,82$.

3.2 Espirais

O material classificado na fração - 1,00 + 0,15 mm foi encaminhado para testes de processo utilizando espirais, o espiral utilizado nos testes é do modelo HG-11 fornecido pela Roche Mining. As variáveis de processo são basicamente, porcentagem de sólidos na alimentação, água de lavagem, granulometria da alimentação e a regulagem dos splitters.

O resumo do teste é apresentado na Tabela 11:

Tabela 11: Resumo dos Testes - Espirais

Fluxo	Análise Química						Rec. Mass.	Rec. Fe
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)		
Alimentação	55,85	15,20	0,054	0,078	1,91	2,44	-	-
Concentrado	65,33	4,30	0,039	0,061	0,96	1,17	30,0 %	31,6 %
Rejeito	51,82	19,84	0,059	0,080	2,65	2,94	70,0 %	-

De acordo com os dados apresentados acima, tem-se ainda:

- $Re_{SiO_2} = 0,28$;
- $Re_{Al_2O_3} = 0,50$;
- $Re_P = 0,72$.

Nos testes de concentração utilizando espirais, os fluxos, 'Pista' e 'Médio', gerados pelo equipamento, foram incorporados ao rejeito, pois não apresentaram características de produto. Estes dois fluxos são passíveis de melhoria, melhorando a qualidade do concentrado, recuperação mássica etc.

3.3 Separação Magnética

Da mesma forma, o material classificado na fração - 1,00 + 0,15 mm também foi encaminhado para testes de processo utilizando separadores magnéticos. O separador magnético utilizado nos testes é do tipo tambor (WDRE), campo magnético de média intensidade, em torno de 7.000 Gauss, e uma taxa de alimentação em torno de 15 kg/h.

As varáveis operacionais são, basicamente, porcentagem de sólidos na alimentação, velocidade do rotor, já que o campo é constante.

O resumo do teste é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Resumo dos Testes – Separação Magnética

Fluxo	Análise Química						Rec. Mass.	Rec. Fe
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)		
Alimentação	55,85	15,20	0,054	0,078	1,91	2,44	-	-
Concentrado	66,48	3,34	0,033	0,036	0,63	0,85	36,7 %	43,7 %
Rejeito	49,69	22,08	0,066	0,102	2,65	3,36	63,3 %	-

Também, de acordo com os dados apresentados acima, tem-se ainda:

- $Re_{SiO_2} = 0,22$;
- $Re_{Al_2O_3} = 0,33$;
- $Re_P = 0,61$.

3.4 Deslamagem

Todo o material classificado com granulometria abaixo de 0,15 mm, foi submetido a uma deslamagem, para condicionamento dessa fração à próxima etapa, uma flotação. Os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 13: Resumo dos Testes – Deslamagem

Fluxo	Análise Química						Massa (kg)	%
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)		
Alimentação	48,11	18,91	0,092	0,112	5,81	6,15	120,00	-
Overflow (Lamas)	48,57	16,31	0,104	0,125	6,80	7,06	27,20	22,7 %
Underflow	46,54	27,77	0,053	0,065	2,47	3,06	92,80	77,3 %

Para a deslamagem, de acordo com os dados apresentados acima, tem-se:

- $Re_{SiO_2} = 1,47$;
- $Re_{Al_2O_3} = 0,42$;
- $Re_p = 0,58$.

3.5 Flotação

Os testes foram realizados seguindo o padrão adotado, com adição de 500 g/t de amido na etapa ROUGHER e 250 g/t na etapa SCAVENGER, além de 70 g/t de amina na etapa ROUGHER. O pH ficou em torno de 10,5 e a velocidade do rotor da célula acertada para 1.200 RPM.

Os resultados seguem abaixo:

Tabela 14: Resumo dos Testes – Flotação

Fluxo	Análise Química						Rec. Mass.	Rec. Fe
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)		
Alimentação	46,54	27,77	0,053	0,065	2,47	3,06	-	-
Concentrado	62,20	2,31	0,070	0,057	4,67	4,14	44,6 %	60,8 %
Rejeito	33,46	48,05	0,033	0,044	1,82	1,80	55,4 %	-

Finalmente, para a flotação, de acordo com os dados apresentados acima, tem-se:

- $Re_{SiO_2} = 0,08$;
- $Re_{Al_2O_3} = 1,89$;
- $Re_p = 1,32$.

4 SIMULAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos neste teste foram comparados com os dados de produção de granulado e Sinter Feed gerados em 2009.

Na Tabela 15 podemos ver as massas e qualidades do Sinter Feed e do Granulado produzidos em 2009:

Tabela 15: Qualidade dos produtos em 2009

Produto	Análise Química						Massa (t)
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	
Granulado	59,74	9,26	0,054	-	2,18	2,87	1.453.695
Sinter Feed	64,34	5,20	0,049	-	1,07	1,51	3.887.868

Os granulados produzidos nas Minas Oeste, Central e Leste em 2009 seriam britados e concentrados na fração SF e PFF e assim, simulando os dados obtidos nos testes com os dados consolidados em 2009, tem-se as massas e suas respectivas qualidades para o Sinter Feed gerados a partir de uma Jigagem e uma Separação Magnética,

Tabela 16: Sinter Feed – Cenário 1 (Jigagem + Separação Magnética)

Produto	Análise Química						Massa (t)
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	
Concentrado - Jigue	63,30	6,34	0,046	-	1,58	1,76	790.873
Concentrado – Sep. Magnética	66,48	3,34	0,033	-	0,63	0,85	120.072
Sinter Feed Total	63,72	5,95	0,044	-	1,46	1,64	910.945

Da mesma forma, tem-se as massas e suas respectivas qualidades para o Sinter Feed gerados a partir de uma Jigagem e uma concentração em Espirais.

Tabela 17: Sinter Feed – Cenário 2 (Jigagem + Espirais)

Produto	Análise Química						Massa (t)
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	
Concentrado - Jigue	63,30	6,34	0,046	-	1,58	1,76	790.873
Concentrado – Espirais	65,33	4,30	0,039	-	0,96	1,17	98.124
Sinter Feed Total	63,53	6,12	0,045	-	1,51	1,69	888.998

Tendo como premissa a britagem de todo o granulado produzido em 2009, considerando o Cenário 1 (pois o mesmo apresentou os melhores resultados) e somando o mesmo a todo o Sinter Feed produzido em 2009, e, adicionando a produção de pellet feed ao sinter feed gerado no processo, segue abaixo a simulação dos resultados do Sinter Feed final:

Tabela 18: Simulação de Produção do Sinter Feed a partir da Britagem dos Granulados

Produto	Análise Química						Massa (t)
	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Mn (%)	Al ₂ O ₃ (%)	PPC (%)	
Sinter Feed (Granulado Britado)	63,72	5,95	0,044	-	1,46	1,64	910.945
Pellet Feed (Granulado Britado)	62,20	2,31	0,070	-	4,67	4,14	30.102
Sinter Feed 2009	64,34	5,20	0,049	-	1,07	1,51	3.887.868
Sinter Feed Total	64,21	5,32	0,048	-	1,16	1,55	4.828.915

Finalmente, com a britagem dos granulados das ITM's Oeste, Central e Leste, a **Recuperação Mássica** estaria em torno de 65 % e a **Recuperação Metalúrgica**, de todo o processo, ficaria próximo de 77%.

5 CONCLUSÕES

1. A britagem dos granulados mostrou uma geração de material muito alta na fração - 6,35 + 1,00 mm, cerca de 70%, comprometendo esta forma a concentração em Jigues. Poderá haver uma britagem mais fina para melhorar a concentração dos jigues;
2. Na fração - 1,00 + 0,15 mm, fizemos testes utilizando a Separação Magnética e Espirais. Os resultados ficaram bem próximos, embora a Separação Magnética tenha apresentado uma qualidade ligeiramente superior, além das recuperações mássica e metálicas também maiores, com isso, para a simulação dos resultados, cálculos de balanço de massa, recuperação mássica e metálica, etc. considerou-se apenas a fração encaminhada à Separação Magnética;
3. Apenas 6 % do montante de material cominuído foi encaminhado à deslamagem. Acompanhando o mesmo raciocínio do item 1, poderíamos aumentar a massa gerada na fração - 0,15 mm, que poderia ser recuperada na flotação;
4. Analisando apenas a etapa da deslamagem, percebemos que, aproximadamente 23 % da alimentação, segue para o Overflow (Lamas), conseqüentemente, 77 % da massa segue para o Underflow. Analisando a massa gerada no Overflow comparando-a com todo o teste, ela é uma parcela bem pequena, cerca de 2 % da massa total. Vale salientar que, o teor de Fe no Overflow da deslamagem fica em torno de 48 %;



5. A melhor relação qualidade/massa foi obtida compondo o concentrado da jigagem com o concentrado da separação magnética. E ainda existe a possibilidade de incorporar a fração Pellet Feed à fração Sinter Feed; gerada no processo;
6. A britagem do granulado para a produção de Sinter Feed poderia ser uma alternativa viável tecnicamente, aguardando análise econômica. É importante afirmar que várias melhorias poderiam ser feitas para aumentar a qualidade final do Sinter Feed, sua recuperação mássica, etc., por isso, recomenda-se a realização de mais alguns testes para quantificar e consolidar estas melhorias.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Usiminas pela oportunidade de estudar detalhadamente os itabiritos friáveis e todos aqueles envolvidos na realização dos testes.

BIBLIOGRAFIA

- 1 LUZ, Adão Benvindo da. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – MCT, 2002;
- 2 CHAVES, Arthur Pinto. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. São Paulo, 2006.