

# CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINÉRIO ITABIRITO DOLOMÍTICO <sup>1</sup>

Érica de Queiroz Ribeiro<sup>2</sup>  
Paulo Magalhães Viana<sup>3</sup>  
Rejaine Aparecida Souza<sup>4</sup>  
William Whitaker<sup>5</sup>

## Resumo

O presente trabalho apresenta estudos de caracterização tecnológica de amostras de minério de ferro tipo itabirito dolomítico. As amostras são provenientes de testemunhos de Sondagem e frentes de lavra da Mina Casa de Pedra/ Congonhas-MG. A caracterização tem como objetivo conhecer o comportamento deste litotipo em rota de beneficiamento típica para tratamento de Itabiritos e avaliar seu impacto nos processos e produtos da planta de beneficiamento. Foram utilizadas 2 linhas de caracterização: a primeira com foco em beneficiamento que constou de cominuição, classificação e testes de concentração por flotação catiônica reversa; a segunda linha com foco nas propriedades metalúrgicas com a realização de ensaios de degradação, tamboramento e crepitação. Foram realizadas análises mineralógicas e químicas ao longo do trabalho. Pela análise granulométrica observa-se que o maior percentual do Itabirito dolomítico irá compôr os produtos *Sinter feed* e Granulado. Os resultados dos testes de concentração, utilizando os mesmos parâmetros adotados na planta de beneficiamento, indicam dificuldades na utilização do método de concentração por flotação. Os testes metalúrgicos apontam boa *performance* quando comparados com os produtos atuais da mina. Sendo assim, a alimentação do Itabirito dolomítico na atual Planta de beneficiamento deve ser controlada para evitar comprometimento dos produtos e processos.

**Palavras-chave:** Itabirito dolomítico; Flotação; Caracterização tecnológica.

## DOLOMITIC ORE TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION

### Abstract

This article presents studies for technological characterization of dolomitic itabirite samples. The samples are obtained from drill core and from different faces of the Casa de Pedra Mine/Congonhas-MG. The characterization aims the behavior investigation of this type of ore, in typical processing route for treatment of Itabirite, and avaluation of their impact on processes and products of mining beneficiation plant. We used two lines of characterization: the first focusing on processing which consisted of comminution, classification and concentration tests using cationic reverse flotation; the second line focused on metallurgical properties with the testing of degradation, drums and crackling. The primary samples and the products from the tests were evaluated through mineralogical and chemical analysis. Sieve analysis showed that highest percentage of the dolomitic itabirite will compose *Sinter Feed* and *Lump* ore products. The results of concentration tests, using the same parameters adopted in the processing plant, indicate difficulties in using the flotation method. The metallurgical tests indicate a good performance compared with the current products of "Casa de Pedra" Mine. Thus, the blending of dolomitic itabirite ore in the feed of the current processing plant must be critically controlled to prevent any impairment of products and processes.

**Keywords:** Dolomitic Itabirite ore; Flotation; Technological characterization.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Engenheira Química, Coordenadora de Laboratório - Mineração Casa de Pedra CSN

<sup>3</sup> Eng., Dr., Departamento de Engenharia de Minas, UFMG.

<sup>4</sup> Engenheira Geóloga, Engenheira de Desenvolvimento PL - Mineração Casa de Pedra CSN

<sup>5</sup> M.Sc. Engenharia Mineral, Gerente de Desenvolvimento - Mineração Casa de Pedra CSN

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos a Mineração Casa de Pedra, localizada no município de Congonhas/ MG e pertencente à Companhia Siderúrgica Nacional, intensificou estudos de concentração para tratamento de minérios da sua planta de beneficiamento atual.

Levando-se em conta que cada mineral possui “identidade” própria, ou seja, um conjunto de características que o distingue dos demais, seu processamento e particularmente a concentração por flotação, caracteriza-se pela necessidade intrínseca de realização de ensaios tecnológicos para determinação da aplicabilidade técnica e econômica de processos básicos.<sup>(1)</sup> Neste sentido, a realização de estudos mineralógicos e de ensaios de concentração em laboratório deve consistir numa atividade sistemática e contínua ao longo da existência do empreendimento.

O beneficiamento de minério de ferro se baseia fundamentalmente na adequação no tamanho das partículas e utilização de propriedades dos minerais que definirão as técnicas de concentração aplicáveis, sendo os óxidos e hidróxidos as formas de interesse comercial mais comuns, entre os diversos tipos de minerais de ferro que ocorrem na natureza.

As várias técnicas aplicadas em caracterização mineral procuram abordar as características dos minerais-minério como tamanho e associações, mas também consideram os minerais de ganga que acabam por interferir no processamento do minério.

A flotação catiônica reversa é um dos métodos de processamento mais utilizados na concentração de minérios de ferro, por promover de forma eficaz a separação entre hematita e quartzo.<sup>(1)</sup> Na maioria dos sistemas de flotação a seletividade requer a participação de modificadores ou reguladores. As ações dos modificadores são diversas, destacando-se: ajustar o pH e o potencial eletroquímico do sistema, controlar o estado de dispersão das partículas da polpa, facilitar e tornar mais seletiva a ação do coletor (ativação) e tornar um ou mais minerais imunes à ação do coletor.

A Mina Casa de Pedra é composta pelos seguintes litotipos de minério de ferro: hematitas brandas e compactas, itabiritos silicosos brandos e compactos, e itabiritos carbonáticos predominantemente compactos.<sup>(2)</sup>

Minérios com características mineralógicas diferenciadas devem apresentar desempenho também diferenciado nas etapas de concentração de finos em rotas previamente definidas, como flotação. O presente estudo explora a avaliação do comportamento de amostras de itabiritos carbonáticos, especificamente Itabiritos dolomíticos, da mina Casa de Pedra. Este minério foi submetido à concentração por flotação em bancada, seguindo duas rotas de processo distintas. O teste de flotação em laboratório utilizou os mesmos parâmetros adotados na planta de beneficiamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras estudadas são provenientes de testemunhos de sondagem e frentes de lavra. Foram selecionadas três amostras de Itabiritos dolomíticos, representativas desta litologia na mina, sendo uma das amostras um Itabirito dolomítico brando- IDO brando, e duas amostras de Itabiritos dolomíticos compactos – IDO compacto.

As amostras foram preparadas visando à adequação aos métodos de determinação dos parâmetros de qualidade, conforme recomendado por normas internacionais.<sup>(3)</sup> Os testes foram realizados no laboratório da Companhia Siderúrgica Nacional/ Mina Casa de Pedra. Os procedimentos operacionais compreenderam as etapas:

- homogeneização e divisão no divisor de rifles;
- retirada de alíquotas para análise química pelo método de fluorescência de raios-x (espectrômetro de raios-x marca Phillips - Modelo Magix Fast);
- caracterização mineralógica por análises de seções polidas empregando microscópio petrográfico modelo Leica – DM 2500 P, com luz refletida e lentes objetivas 20x e ocular 10x, propiciando aumento de 200x;
- classificação do minério por peneiramento, utilizando a série de peneiras Tyler. As malhas utilizadas foram (50; 12,5; 6,35; 3,35; 1,0; 0,150; 0,075; 0,053 e 0,044) mm;
- britagem das amostras em britador de mandíbula, até tamanho < 50 mm;
- moagem em moinho de bolas;
- testes metalúrgicos (degradação, tamboramento e teste de Crepitação). Estes foram realizados conforme recomendações de normas aplicáveis;<sup>(4,5)</sup>
- deslamagem para retirada de materiais finos; e
- testes de flotação em bancada da fração <0,15 mm natural e moída, utilizando célula CDC- modelo EEPN 1000.

Os parâmetros adotados nos testes de deslamagem e flotação são descritos abaixo:

#### Deslamagem da fração de finos naturais e dos finos moídos:

- Realizada em 2 estágios , 2 minutos por estágio;
- pH: 10,7;
- % sólidos: 25.

#### Flotação da fração de finos naturais e dos finos moídos:

- Rotação: 1200 rpm;
- % sólidos: 40;
- pH:10,7;
- coletor: éteramina;
- dosagem: 55 g/t ;
- depressor: amido;
- dosagem: 600 g/t;
- tempo de flotação: 6 min.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por definição o termo Itabirito se refere a uma formação ferrífera de fácies óxidos, laminada e metamorfisada, na qual as bandas de chert ou jaspe, originais, foram recristalizadas como quartzo granular e o ferro está presente como hematita, magnetita ou martita.<sup>(6)</sup> As amostras escolhidas para o presente estudo se constituem de itabiritos dolomíticos, provenientes de furos de sondagem e frentes de lavra.

Segundo Spier,<sup>(7)</sup> no Itabirito dolomítico alternam-se bandas ricas em hematita com bandas ricas em dolomita, calcita e quartzo. A composição química dos itabiritos dolomíticos é em geral simples, tendo  $Fe_2O_3$ , CaO, MgO e PF como principais componentes.

São apresentados a seguir os resultados dos testes realizados nas amostras estudadas.

### 3.1 Composição Química via Fluorescência de Raios-x

Tabela 1: composição química das amostras

Amostras	Análises Químicas (%)							
	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	MgO	CaO	PPC
IDO Brando	46,85	0,90	0,37	0,46	0,148	6,88	9,46	14,47
IDO Compacto 1	40,35	0,31	0,13	0,38	0,062	8,95	13,13	19,04
IDO Compacto 2	30,00	43,95	0,33	0,15	0,032	2,17	4,05	6,44

### 3.2 Caracterização Mineralógica por Análises de Seções Polidas em Microscópio Petrográfico

Tabela 2: Caracterização mineralógica

Amostras	Análise Mineralógica (%)							
	Hematita granular	Hematita especular	Martita	Magnetita	Goethita	Limonita	Quartzo	Carbonatos
IDO Brando	40,65	18,00	5,80	2,00	2,81	6,39	4,35	20,00
IDO Compacto 1	40,80	16,00	0,93	2,50	8,44	3,83	1,50	26,00
IDO Compacto 2	28,00	16,70	0,64	1,00	1,82	2,64	41,50	7,70

### 3.3 Análise Granulométrica

A definição das condições de operação de um determinado processo de tratamento exige o conhecimento prévio da distribuição de tamanho das partículas a serem processadas. Para a maioria dos processos esta definição é importante não só para especificação de tamanho desejado do produto, mas também no cálculo da energia necessária para produzi-lo.<sup>(8)</sup>

Na Tabela 3 são mostrados os resultados das análises granulométricas das 3 amostras estudadas.

Tabela 3: Distribuição granulométrica

Amostra	% passante acumulado - malha (mm)								
	50,0	12,5	6,35	3,35	1,0	0,15	0,075	0,053	0,044
IDO Brando	100	64,70	54,10	44,40	33,50	26,60	23,20	21,70	21,00
IDO Compacto 1	100	9,80	6,00	4,20	2,80	1,80	1,60	1,50	1,40
IDO Compacto 2	100	26,03	16,88	11,71	8,14	6,47	4,48	3,10	2,79

Pelo resultado das análises granulométricas percebemos que grande parte do material analisado apresenta granulometria correspondente aos produtos *Sinter feed* e Granulado.

### 3.4 Ensaios Metalúrgicos

Para conhecer o comportamento metalúrgico da fração >12,5 mm (produto Granulado) foram realizados ensaios de degradação, tamboramento e crepitação

das amostras de IDO Brando e IDO Compacto 1, que apresentaram teores de sílica compatíveis com as especificações de mercado. Os resultados são mostrados nas Tabelas 4, 5 e 6.

### 3.4.1 Ensaio de degradação

As amostras foram submetidas a teste no degradador, considerando cinco quedas.

**Tabela 4:** Ensaio de degradação para amostras de IDO Brando, IDO Compacto e Granulado Casa de Pedra

Amostra	Ensaio em degradador								
	% Passante - malha (mm)								
	50	44	37	31,5	25	19	12,5	9,5	6,3
Alimentação IDO Brando	100	92,5	65,8	54,9	28,2	14,8	4,0	0,0	0,0
IDO Brando após degradação	100	92,4	73,5	60,5	41,1	26,3	15,2	10,5	7,7
Diferença* IDO Brando (%)	0	0,0	-7,7	-5,6	-12,9	-11,5	-11,2	-10,5	-7,7
Alimentação IDO Compacto 1	100	93,8	83,1	71,4	48,5	20,6	5,2	0,0	0,0
IDO Compacto 1 após degradação	100	95,7	86,8	74,2	47,8	27,2	13,1	7,2	4,6
Diferença* IDO compacto 1 (%)	0	-1,9	-3,7	-2,8	0,7	-6,6	-7,9	-7,2	-4,6
Alimentação Granulado CSN	100	99,1	92,7	81,8	65,4	42,8	14,0	8,2	5,9
Granulado CSN após degradação	100	100,0	93,1	82,2	67,5	46,9	21,8	14,5	11,1
Diferença* Granulado (%)	0	-0,9	-0,3	-0,4	-2,1	-4,1	-7,8	-6,4	-5,3

\* diferença entre % passante na alimentação menos % passante no produto (depois do teste).

Apesar das diferenças entre as faixas granulométricas antes e depois da realização do ensaio de degradação nos itabiritos (IDO) estarem acima dos encontrados para o granulado referência, principalmente no IDO brando, os resultados foram considerados bons, visto que as degradações das partículas por faixa foram baixas.

### 3.4.2 Ensaio de tamboramento

Cada amostra foi submetida a 200 voltas em tambor, sendo posteriormente peneiradas para definição dos índices de referência. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** ensaio de tamboramento: IDO brando, IDO compacto e Granulado Casa de Pedra

Ensaio de Tamboramento						
Índice		Amostra				
		IDO Brando	Avaliação	IDO compacto 1	Avaliação	Granulado Casa de Pedra
TI	Degradação (+6,3mm)	82,05	bom	85,29	Ótimo	72,4
AI	Abrasividade (-0,5mm)	10,87	bom	9,21	Ótimo	17,9

Os resultados encontrados para as amostras estudadas estão melhores que os índices de granulado típico da Mina Casa de Pedra.

### 3.4.3 Ensaio de crepitação

Para os ensaios de crepitação, as amostras, contendo 500 g de massa cada, entre as malhas -25 / +19 mm, foram submetidas à temperatura de 700°C, durante 30 minutos. Os resultados estão exibidos na Tabela 6.

**Tabela 6:** Ensaio de crepitação: IDO brando, IDO compacto e Granulado Casa de Pedra

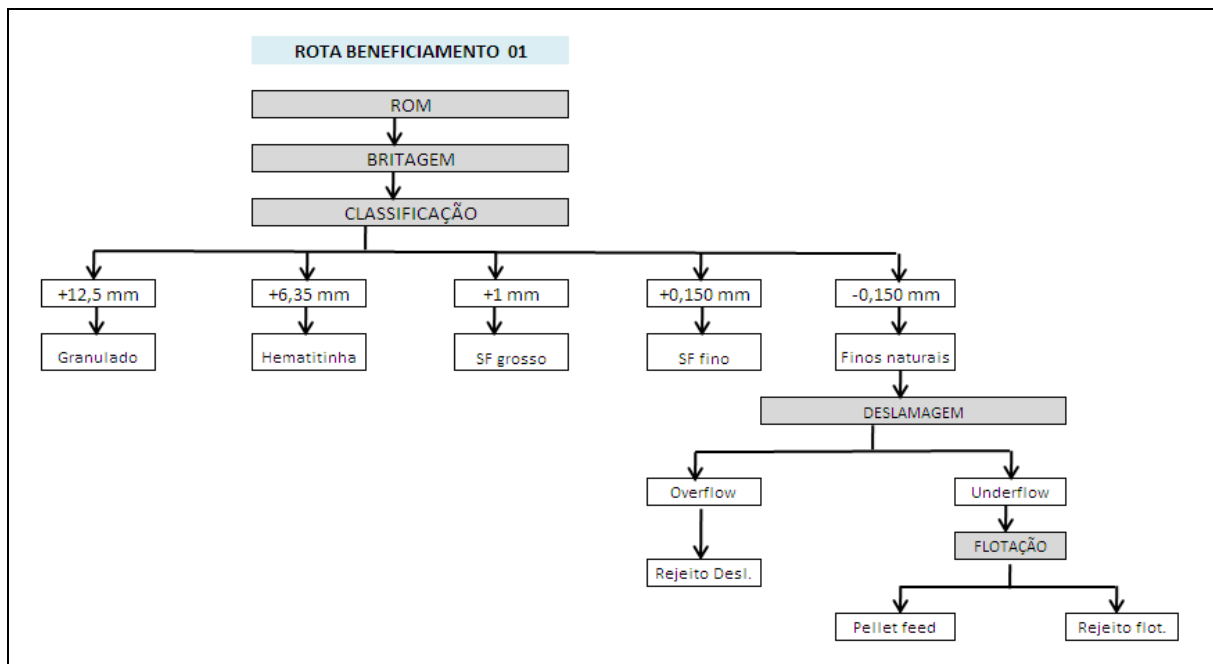
Ensaio de Crepitação					
Índice	Amostra				
	IDO Brando	Avaliação	IDO compacto 1	Avaliação	Granulado Casa de Pedra
Crepitação ( - 6,3 mm)	0,79	ótimo	4,54	ótimo	7,26
Crepitação ( - 4,76 mm)	0,39	ótimo	4,03	ótimo	5,34

Tanto o IDO brando quanto o IDO compacto se encontram dentro de índices considerados ótimos para utilização em alto-forno.

### 3.5 Resultados Obtidos com os Testes de Concentração Realizados para Duas Rotas de Beneficiamento, Rota 1 e Rota 2.

#### 3.5.1 Rota 1

O fluxograma da rota 1, mostrado na Figura 1, contempla a obtenção de quatro produtos. As três amostras (IDO brando e IDO compacto 1 e 2) foram submetidas aos testes de concentração da rota 1.



**Figura 1:** Fluxograma para rota de beneficiamento 1.

- **Classificação (deslamagem) e teste de concentração de finos naturais**

**Tabela 7:** resultados do ensaio de deslamagem e flotação para amostras de IDO brando

Ensaio de deslamagem e flotação									
Amostra IDO Brando: Finos naturais < 0,15 mm									
Amostras	Massa (g)	Teores (%)							
		Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	MgO	CaO	PPC
Alim. < 0,15 mm	1600	42,56	1,54	0,61	0,89	0,234	8,09	10,36	16,66
OF - Deslamagem	746	32,74	2,53	1,04	1,31	0,333	10,69	13,74	22,58
UF - Deslamagem	854	51,12	0,67	0,24	0,53	0,148	5,82	7,41	11,50
Concentrado Flotação	681	52,01	0,36	0,10	0,32	0,128	5,45	7,22	11,63
Rejeito Flotação	173	42,11	2,56	0,79	1,46	0,327	8,77	9,37	15,39

**Tabela 8:** resultados do ensaio de deslamagem e flotação para amostra de IDO compacto 1

Amostra IDO Compacto 1: Finos naturais < 0,15 mm									
Produto	Massa (g)	Teores (%)							
		Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	MgO	CaO	PPC
Alim. < 0,15 mm	1663	36,89	2,21	0,73	0,91	0,169	9,92	12,89	19,89
OF - Deslamagem	380	27,35	4,17	1,56	1,29	0,342	12,17	15,74	24,65
UF - Deslamagem	1283	39,72	1,62	0,49	0,79	0,118	9,25	12,05	18,48
Concentrado Flotação	851	41,89	0,81	0,18	0,49	0,064	8,59	11,78	17,91
Rejeito Flotação	432	35,45	3,23	1,10	1,39	0,223	10,55	12,58	19,59

**Tabela 9:** resultados do ensaio de deslamagem e flotação para finos naturais - amostra de IDO compacto 2

Amostra IDO Compacto 2: Finos naturais < 0,15 mm									
Produto	Massa (g)	Teores (%)							
		Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	MgO	CaO	PPC
Alim. < 0,15 mm	1600	30,00	46,62	0,34	0,28	0,053	3,31	6,06	9,67
OF - Deslamagem	189	34,56	31,24	2,40	0,73	0,180	5,17	9,45	15,81
UF - Deslamagem	1411	29,39	48,68	0,06	0,22	0,036	3,06	5,61	8,85
Concentrado Flotação	802	32,61	32,33	0,57	0,25	0,034	3,42	6,19	10,31
Rejeito Flotação	609	12,99	72,28	0,77	0,13	0,033	1,23	2,15	4,61

Os resultados se mostraram pouco promissores, principalmente quanto a redução de sílica, quando comparados à flotação de itabiritos silicosos da mina Casa de Pedra (sílica de 1,5 % no concentrado para alimentação de aproximadamente 25 %).

### 3.5.2 Rota 2

A rota 2 contempla produção do produto *pellet feed* obtido a partir da flotação de finos moídos e finos naturais. Esta rota foi testada somente para a amostra 3, que apresenta sílica de 42%, o que inviabiliza a produção dos produtos granulado, hematitinha e *Sinter feed*. Esta rota contempla a britagem do material em 2 etapas sendo a 1ª até tamanho < 50 mm e a 2ª até tamanho <12,5 mm. A fração < 12,5 mm >0,15 mm foi moída, deslamada e concentrada por flotação. A fração < 0,15 mm, ou seja, os finos naturais, foi deslamada e concentrada por flotação (vide fluxograma exibido na Figura 2).

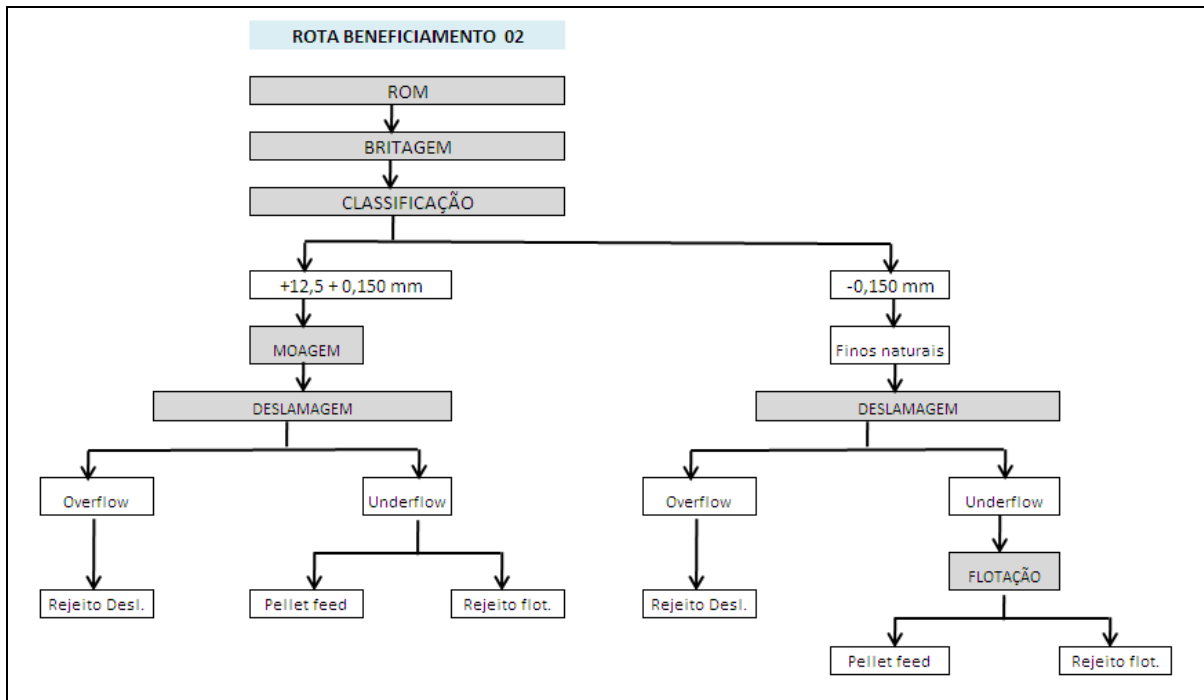


Figura 2: fluxograma para rota de beneficiamento 2.

- **Classificação (deslamagem) e teste de concentração de finos moídos**

Tabela 10: resultados do ensaio de deslamagem e flotação para finos moídos-amostra de IDO compacto 2

Amostra IDO Compacto 2: Finos moídos < 0,15 mm									
Produto	Massa (g)	Teores (%)							
		Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	MgO	CaO	PPC
Alim. < 0,15 mm	2038	31,61	42,33	0,23	0,14	0,043	2,17	4,00	5,88
OF - Deslamagem	70	20,45	53,05	0,35	0,16	0,057	2,57	4,82	9,31
UF - Deslamagem	1968	32,01	41,95	0,23	0,14	0,043	2,16	3,97	5,76
Concentrado Flotação	971	49,56	11,47	0,09	0,19	0,072	2,19	5,64	8,97
Rejeito Flotação	997	16,28	70,09	0,16	0,07	0,021	1,10	2,32	2,69

Os resultados novamente se mostraram pouco promissores, principalmente quanto a teor de sílica no concentrado, quando comparados à flotação de itabiritos silicosos da mina Casa de Pedra com teores semelhantes de sílica na alimentação. Tal fato, em princípio pode ser atribuído à inibição da ação coletora da amina pela presença de íons cálcio e magnésio, tendo em vista a utilização de flotação catiônica reversa.

#### 4 CONCLUSÕES

- Pela análise granulométrica observa-se que grande parte do itabirito dolomítico irá compôr os produtos *Sinter feed* e *Granulado*, tendo em vista a Planta de beneficiamento atual. Quanto à fração fina, esta não apresentou boa concentrabilidade no processo de flotação, considerando os mesmos parâmetros adotados na planta de beneficiamento. Sendo assim, a alimentação do Itabirito dolomítico na atual Planta de beneficiamento deve ser controlada para evitar comprometimento dos produtos e processos da Mineração Casa de Pedra. Já para a futura planta de concentração de





Itabiritos, que contempla moagem e produção de *pellet feed* principalmente por processo de flotação de finos, fica restrita a participação do Itabirito dolomítico uma vez que o mesmo apresentou baixo desempenho na concentração por este método, não permitindo a obtenção de produto com especificação de mercado.

- Os resultados obtidos para as 3 amostras estudadas apontam bom desempenho nos testes metalúrgicos quando comparados com o desempenho apresentado pelos produtos atuais da mina. Sugere-se dar continuidade a estudos de comportamento destes itabiritos (IDO) nos processos de sinterização, pelotização e redução em alto forno. Em caso de resultados promissores, sugere-se estudos de outras rotas de concentração para este litotipo, como moagem conjugada com concentração magnética de alta intensidade.

## REFERÊNCIAS

- 1 Chaves, A.P. Teoria e Prática do Tratamento de minério, volume 4, Editora Signus, São Paulo. 2009.
- 2 Alkmim, F.F. & Trzaskos, B & Zavaglia, G. 1999. Geologia estrutural, mineralogia e texturas dos minérios de ferro da mina de Casa de Pedra – CSN: Resultados Preliminares. Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro. 1999.
- 3 Comitê Brasileiro de minério de ferro. NBR ISO 3082 - Minérios de ferro – Procedimentos de amostragem e preparação de amostras. 2003
- 4 International Standard. ISO 8371 - Iron ore for blast furnace feedstocks– Determination of the decrepitation Index. Second edition, 2007.
- 5 International Standard. ISO 3271- Iron ore for blast furnace and direct reduction feedstocks – Determination of the tumble and abrasion indices. Fourth edition, 2007.
- 6 Dorr II, J. V. N at all. (1964). Ocorrências e classificação de minérios de ferro do quadrilátero ferrífero. Semana de Estudos sobre Padronização dos Minérios.
- 7 Spier, C.A. Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero ferrífero, MG 2005.
- 8 Valadão G.E.S & Araújo A.C. Introdução ao Tratamento de Minérios, Belo Horizonte, 1ª Edição, p 1-30, Ed. UFMG, Minas Gerais, Brasil, 2007.