

## **SIMULAÇÃO DE RESULTADOS DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO OBTIDOS EM PLANTA PILOTO, CORRELACIONANDO COM O PROCESSO INDUSTRIAL**

T. C. Santiago<sup>1</sup>, P. P. Santana<sup>2</sup>, L. Rocha<sup>3</sup>

1 – Coordenação de Desenvolvimento - Mineração Casa de Pedra - Companhia Siderúrgica Nacional - Caixa Postal 101 - CEP 36415-000 - Congonhas - MG  
E-mail: [tiagoc@csn.com.br](mailto:tiagoc@csn.com.br)

2 – Laboratório Químico e Físico - Coordenação de Desenvolvimento - Mineração Casa de Pedra - Companhia Siderúrgica Nacional - Caixa Postal 101 - CEP 36415-000 - Congonhas - MG  
E-mail: [paulo.penha@csn.com.br](mailto:paulo.penha@csn.com.br)

3 - Coordenação de Produção - Mineração da Bocaina - Companhia Siderúrgica Nacional - Caixa Postal 24 - CEP 35588-000 - Arcos - MG  
E-mail: [lucianorochoa@csn.com.br](mailto:lucianorochoa@csn.com.br)

### **RESUMO**

A Coordenação de Desenvolvimento da Mineração Casa de Pedra (CSN) está desenvolvendo uma planta piloto para caracterização tecnológica de minérios de amostras das pilhas de homogeneização. A planta piloto é composta por silo, peneira vibratória de dois decks, hidroclassificador espiral e hidrociclone. Para complementar os resultados gerados pela planta piloto são realizados testes de flotação em bancada e testes de sedimentação. Os principais objetivos da planta piloto são: gerar dados que, correlacionados, transformam-se em informações antecipadas para os clientes internos, prevendo comportamentos do minério e possibilitando sugestões para mudanças no processo de beneficiamento, visando a geração de produtos que atendam as especificações do mercado; estudar o comportamento de amostras de pesquisa; estudar tipologias do minério ainda não estudadas detalhadamente, de modo a sugerir rotas alternativas de processo, e estudar tipologias com diferentes desempenhos, frente ao processo já existente. A partir da coleta de uma amostra representativa de uma pilha de homogeneização, iniciou-se uma série de testes na planta piloto objetivando obter resultados próximos aos obtidos na instalação de beneficiamento quando operando com o minério da pilha de homogeneização amostrada. Os testes foram realizados adequando as variáveis de processo como: taxa de alimentação; inclinação da peneira e abertura das telas; inclinação do hidroclassificador espiral; apex, vortex e pressão do hidrociclone etc. Após uma série de testes, conseguiu-se uma boa aproximação entre os resultados obtidos na planta piloto e na produção. Os resultados para o *sinter feed* - foco principal do trabalho - obtiveram excelente correlação com os dados da produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** planta piloto, caracterização, processo.

## I. INTRODUÇÃO

A Coordenação de Desenvolvimento da Mineração Casa de Pedra está desenvolvendo uma planta piloto de pequena escala, localizada no Laboratório Químico e Físico da Mineração, com o propósito de fazer caracterização de amostras de minério de pilha de homogeneização (principalmente *sinter feed*), canaletas e geração de pequenas quantidades de massa de produtos;

A planta piloto é composta por silo, peneira vibratória de dois *decks*, hidroclassificador espiral e hidrociclone, conforme ilustrado nas figuras 01 e 02, representando o processo industrial.

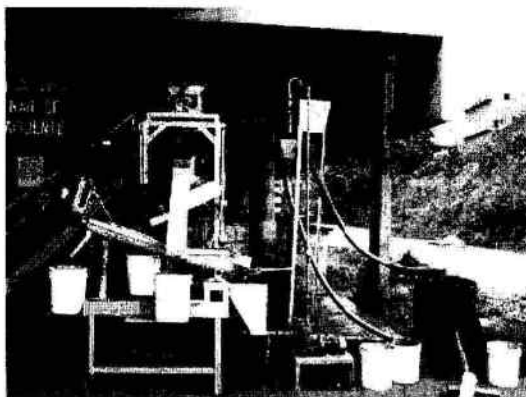


Figura 01: Planta Piloto da Mineração Casa de Pedra – vista lateral

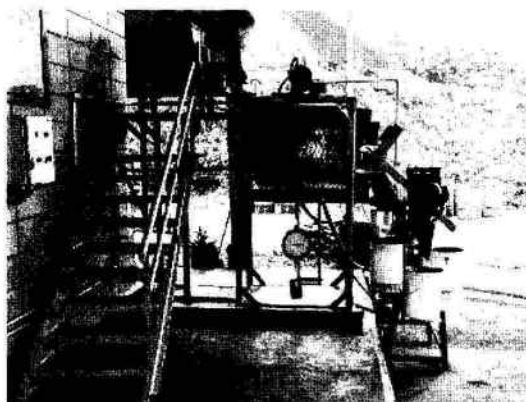


Figura 02: Planta Piloto da Mineração Casa de Pedra – vista frontal

Para complementar os resultados gerados pela planta piloto são realizados testes de flotação em bancada, utilizando uma célula de flotação, com retirada automática de espuma e testes de sedimentação, em provetas, ilustrados pelas figuras 03 e 04, respectivamente.

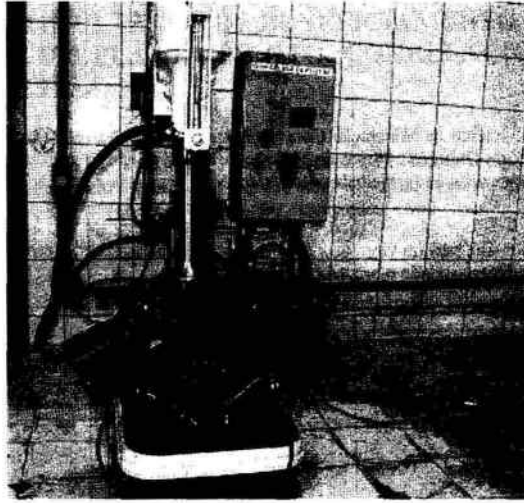


Figura 03: Célula de flotação

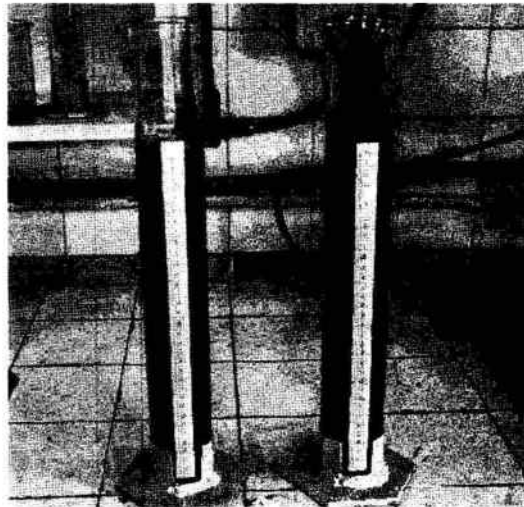


Figura 04: Testes de sedimentação, em proveta

## 2. OBJETIVOS

Os principais objetivos da planta piloto são:

- gerar antecipadamente dados que, correlacionados, se transformam em informações para os clientes, visando determinar comportamentos do minério, de modo a sugerir mudanças no processo de beneficiamento para a geração de produtos que atendam as especificações do mercado;
- estudar o comportamento de amostras de pesquisa;
- estudar uma tipologia ainda não conhecida detalhadamente, de modo que possa sugerir adequação no processo;
- estudar tipologias com diferentes desempenhos, frente ao processo já existente.

### 3. HISTÓRICO DA PLANTA PILOTO

#### 3.1 Calibração da Planta Piloto com a Área Industrial

A partir da coleta de uma amostra representativa de uma pilha de homogeneização, antes desta ser alimentada na usina, iniciou-se uma série de testes na planta piloto objetivando obter resultados próximos aos obtidos na instalação de beneficiamento quando operando com o minério da pilha de homogeneização amostrada.

Os testes foram realizados adequando as variáveis de processo como: taxa de alimentação; inclinação da peneira e abertura das telas; inclinação, altura do transbordo e porcentagem de sólidos do overflow do hidroclassificador espiral, bem como a utilização de água de lavagem; apex, vortex e pressão do ciclone etc.

#### 3.2 Rota na Planta Piloto

**Recebimento do minério, peneiramento e classificação:** O minério recebido para execução de testes pilotos é proveniente de amostragens realizadas durante a formação das pilhas de homogeneização.

Parte das amostras são reservadas e acumuladas para realizações dos testes. O minério após homogeneizado, é colocado em um silo dotado de um alimentador de correia com velocidade variável para controle da alimentação da peneira (confeccionada na própria CSN) de 2 decks (1,15 x 0,31m) suspensa por cabos.

A taxa alimentação da peneira é da ordem de 200 a 250 kg/h.

O peneiramento é realizado a úmido, nas mesmas aberturas das malhas atualmente utilizadas na área industrial:

- 1º deck: abertura de 12mm, malha quadrada (tela de poliuretano), sendo 1/3 da tela com abertura de 12x36mm;
- 2º deck: abertura de 10-8mm, malha quadrada (tela de poliuretano).

#### 3.3. Produtos gerados:

- O *oversize* do 1º deck da peneira constitui o produto Granulado;
- O *oversize* do 2º deck da peneira constitui a Hematitinha;
- O *undersize* do 2º deck da peneira alimenta o hidroclassificador espiral de 10";
- O *underflow* do hidroclassificador espiral constitui o produto *Sinter feed*;
- O *overflow* do hidroclassificador espiral é bombeado (bomba 2 x 1 1/2"), para um ciclone de 2" com uma pressão de 2,5kgf/cm<sup>2</sup>;
- O *overflow* do ciclone constitui as lamas, que é amostrado para teste padrão de sedimentação em provetas, sem e com a utilização de floclantes;
- O *underflow* do ciclone segue para o laboratório, onde é executada a etapa de flotação em bancada, utilizando célula de flotação com funcionamento semi-automático.

Todos os dados gerados durante a operação do teste são registrados em caderno de campo e em seguida digitado em meio eletrônico, gerando assim planilhas com balanço de massa (sem ajustes matemáticos).

Para o Pellet Feed Fines os resultados de teores de sílica no concentrado e detalhes físicos do ensaio são enviados para a área de planejamento de curtíssimo prazo e para a área de produção, todas as manhãs.

Para as lamas, são realizados testes de sedimentação em provetas. As velocidades de sedimentação são informadas para a área industrial objetivando maior segurança na operação do espessador de rejeitos e otimização da dosagem de reagentes.

Na figura 05 é apresentado o fluxograma da Planta Piloto.

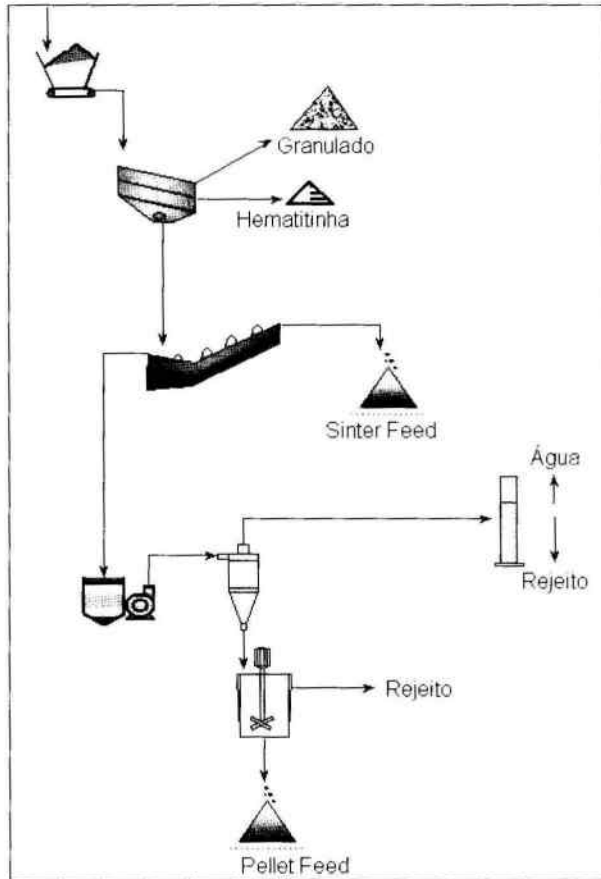


Figura 05: Fluxograma da Planta Piloto

#### 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos na planta piloto foram comparados aos dados gerados na planta industrial até que se obtivesse uma boa aproximação entre os resultados, conforme pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 Resultados para Sinter Feed

Pilha 01	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	Pilha 02	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P
Especificação	≥64,0	4,70 a 5,50	≤1,10	≤0,70	≤0,045	Especificação	≥64,0	4,70 a 5,50	≤1,10	≤0,70	≤0,045
Planta Piloto	63,64	5,17	1,23	0,66	0,042	Planta Piloto	63,95	4,89	1,05	0,75	0,040
Planta Industrial	64,12	5,12	0,98	0,59	0,038	Planta Industrial	64,40	4,77	0,89	0,66	0,035
Viés PP	1%	-1%	-20%	-10%	-8%	Viés PP	1%	-2%	-15%	-12%	-12%
Pilha 03	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P	Pilha 04	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	P
Especificação	≥64,0	4,70 a 5,50	≤1,10	≤0,70	≤0,045	Especificação	≥64,0	4,70 a 5,50	≤1,10	≤0,70	≤0,045
Planta Piloto	63,30	4,94	1,34	0,65	0,042	Planta Piloto	61,24	4,54	1,35	0,51	0,046
Planta Industrial	64,03	4,97	1,20	0,68	0,043	Planta Industrial	64,44	4,69	1,15	0,58	0,044
Viés PP	1%	1%	-11%	5%	2%	Viés PP	0%	3%	-14%	15%	-4%

<b>Pilha 05</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	<b>Pilha 06</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045	Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045
Planta Piloto	63,69	5,23	1,64	0,62	0,050	Planta Piloto	64,49	5,17	0,85	0,47	0,034
Planta Industrial	64,13	5,16	1,18	0,57	0,043	Planta Industrial	64,42	5,00	0,78	0,40	0,035
Viés PP	1%	-1%	-28%	-9%	-15%	Viés PP	0%	-3%	-8%	-15%	3%
<b>Pilha 07</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	<b>Pilha 08</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045	Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045
Planta Piloto	63,57	5,24	1,26	0,63	0,035	Planta Piloto	64,36	5,03	0,91	0,40	0,037
Planta Industrial	64,22	4,96	1,01	0,54	0,031	Planta Industrial	64,31	5,10	0,90	0,40	0,036
Viés PP	1%	-5%	-20%	-1,5%	-12%	Viés PP	0%	1%	-1%	-1%	-2%
<b>Pilha 09</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	<b>Pilha 10</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045	Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045
Planta Piloto	64,38	5,21	0,84	0,40	0,035	Planta Piloto	63,56	5,29	0,98	0,43	0,038
Planta Industrial	64,32	5,26	0,73	0,40	0,035	Planta Industrial	64,13	5,37	0,78	0,44	0,037
Viés PP	0%	1%	-13%	0%	-1%	Viés PP	1%	2%	-21%	0%	-1%
<b>Pilha 11</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	<b>Pilha 12</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045	Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045
Planta Piloto	63,72	5,36	1,13	0,92	0,036	Planta Piloto	64,38	4,50	0,96	0,78	0,032
Planta Industrial	63,80	5,17	1,04	0,82	0,035	Planta Industrial	64,21	4,78	0,95	0,67	0,033
Viés PP	0%	-4%	-8%	-1,1%	-2%	Viés PP	0%	6%	-1%	-1,4%	4%
<b>Pilha 13</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	<b>Pilha 14</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045	Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045
Planta Piloto	63,78	4,83	0,89	1,32	0,040	Planta Piloto	63,88	5,24	1,11	0,62	0,036
Planta Industrial	63,62	4,90	0,92	1,29	0,041	Planta Industrial	63,99	5,11	1,08	0,61	0,036
Viés PP	0%	1%	3%	-2%	2%	Viés PP	0%	-2%	-2%	-2%	-1%
<b>Pilha 15</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	<b>Pilha 16</b>	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045	Especificação	>=64,0	4,70 a 5,50	<=1,10	<=0,70	<=0,045
Planta Piloto	64,41	5,30	1,06	0,51	0,026	Planta Piloto	64,58	3,95	1,28	0,74	0,032
Planta Industrial	64,09	5,33	1,09	0,45	0,030	Planta Industrial	64,80	4,08	1,14	0,60	0,039
Viés PP	-1%	1%	3%	-13%	17%	Viés PP	0%	3%	-11%	-19%	2,3%

Na figura 06 pode-se observar a tendência nos resultados obtidos na planta piloto e na área industrial.

**Gráfico - Resultados de Teores de Sílica no Sinter Feed Comparando a Planta Piloto e a Área Industrial**

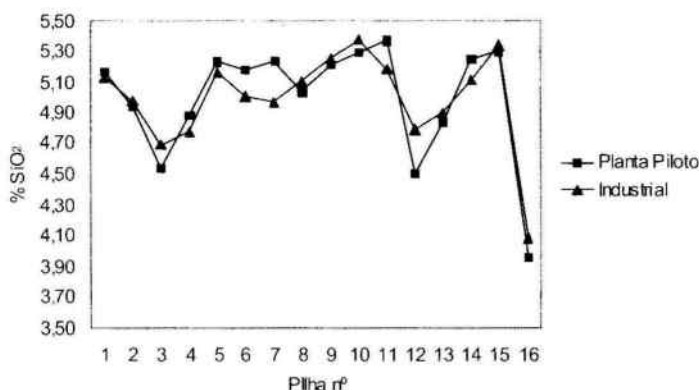


Figura 06 - Tendência nos resultados para *sinter feed* obtidos na planta piloto e na área industrial.

A tabela II apresenta os resultados obtidos para o Granulado.

Tabela II - Resultados obtidos para o Granulado

Pilha 01	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	Pilha 02	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060	Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060
Planta Piloto	63,35	5,10	1,54	0,49	0,062	Planta Piloto	65,21	3,59	0,99	0,40	0,051
Planta Industrial	63,83	5,34	1,55	0,37	0,049	Planta Industrial	65,01	3,97	1,05	0,38	0,045
Viés PP	1%	5%	0%	-24%	-21%	Viés PP	0%	11%	6%	-4%	-13%
Pilha 03	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	Pilha 04	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060	Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060
Planta Piloto	65,33	3,53	1,13	0,24	0,038	Planta Piloto	64,80	3,28	1,06	0,40	0,042
Planta Industrial	65,55	3,53	0,92	0,25	0,040	Planta Industrial	65,43	3,13	1,22	0,28	0,043
Viés PP	0%	0%	-19%	4%	5%	Viés PP	1%	-4%	-26%	-29%	3%
Pilha 05	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	Pilha 06	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060	Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060
Planta Piloto	64,14	4,93	1,42	0,37	0,040	Planta Piloto	65,18	3,24	1,42	0,29	0,052
Planta Industrial	64,36	4,71	1,35	0,35	0,041	Planta Industrial	65,33	3,19	1,33	0,40	0,044
Viés PP	0%	-5%	-5%	-6%	3%	Viés PP	0%	-2%	-6%	37%	-16%
Pilha 07	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P	Pilha 08	Fe	SiO2	Al2O3	Mn	P
Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060	Especificação	>=64,0	2,20 a 3,80	<=1,20	<=0,45	<=0,060
Planta Piloto	63,90	5,10	0,96	0,74	0,050	Planta Piloto	64,06	4,29	1,70	0,60	0,038
Planta Industrial	63,57	5,10	1,07	0,63	0,052	Planta Industrial	64,11	4,22	1,30	0,99	0,041
Viés PP	-1%	0%	11%	-15%	4%	Viés PP	0%	-2%	-24%	65%	8%

Na figura 07 pode-se observar a tendência nos resultados obtidos na planta piloto e na área industrial.

Gráfico - Resultados de Teores de Silica no Granulado Comparando a Planta Piloto e a Área Industrial

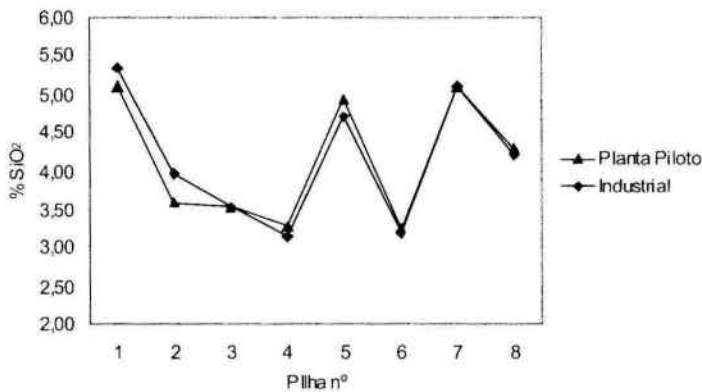


Figura 07 - Tendência nos resultados para granulado obtidos na planta piloto e na área industrial.

## 5. CONCLUSÕES

Tem-se conseguido uma boa aproximação entre os resultados obtidos na planta piloto e os resultados de produção.

Os resultados para *sinter feed*, que são o foco principal do trabalho, estão obtendo excelente correlação com os dados da produção.

Os testes em bancada para geração de *pellet feed fines* fornecem para a área de produção uma previsibilidade segura para a estratégia nos ajustes das variáveis nas colunas de flotação.

Consegue-se, através dos testes na planta piloto conhecer tecnologicamente tipologias de minérios, frente a processos de beneficiamento.

Caso necessário, a planta piloto pode gerar convenientes quantidades de produtos, nas especificações desejadas para fins de desenvolvimento de processo.

## **6. PRÓXIMOS PASSOS**

- Implantação de testes de Filtragem;
- Acoplar um Espessador de bancada para testes de sedimentação;
- Acoplar a célula mecânica de flotação à Planta Piloto para obtenção de todos os testes contínuos.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Relatórios internos - Gerência de Tratamento de Minérios - Mineração Casa de Pedra, Companhia Siderúrgica Nacional.