

ESTUDOS PARA A CONCENTRAÇÃO DE FLUORITA DO PARANÁ EM COLUNA DE FLOTAÇÃO – UMA ANÁLISE PRELIMINAR

L.A.S. de Brum¹, C.H. Sampaio², J.C.Q. Gomes³, M. Bastitella⁴

1 - Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais/EPUFBA. Rua Prof. Aristides Novis nº 2. Federação. Salvador/Ba. CEP 40210-630. Telef. 71 3203 9850, fax 71 3237 7035.
E-mail: brum@ufba.br

2 - Departamento de Engenharia. Metalúrgica/EEUFRGS. Laprom/Centro de Tecnologia. Av. Bento Gonçalves 9.500. Agronomia. Porto Alegre/RS. CEP 91501-970. Telef. 51 3316 7067, fax 51 3316 7116.
E-mail: sampaio@ufrgs.br

3 - Mineração Nossa Senhora do Carmo. Morro da Fumaça/SC CEP 88830-000. Telef. 48 434 7042, fax 48 437 1052.
E-mail: juliocqg@hotmail.com.

4 - Laprom/Centro de Tecnologia/UFRGS. Av. Bento Gonçalves 9.500. Agronomia. Porto Alegre/RS. CEP 91501-970. Telef. 51 3316 7067, fax 51 3316 7116.
E-mail: marcosbatistella@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo definir um sistema de flotação em coluna para ser utilizado, em sistemas *rougher e cleaner*, para minério de fluorita extraída no Paraná e processada pela Mineração Nossa Senhora do Carmo, em Morro da Fumaça/SC. Nesse estudo foi utilizada uma coluna de flotação semipiloto e avaliados parâmetros como o efeito da água de lavagem, velocidade superficial do ar, concentração do agente coletor (*tall oil*), concentração de sólidos na polpa de alimentação. Os resultados foram avaliados em função das variações dos parâmetros de separação (recuperação e teor).

Os resultados obtidos em coluna mostram que, mesmo em uma única etapa de flotação *rougher* é possível atingir valores de recuperação e teor mais elevados do que os obtidos no banco *rougher* convencional. Nesses ensaios, empregando água de lavagem, o teor de fluorita no concentrado *rougher* atingiu cerca de 90%

A coluna de flotação também foi avaliada operando em um sistema *cleaner*, a partir de dois diferentes fluxos de alimentação. O primeiro, contendo concentrado *rougher* da própria planta industrial (flotação convencional) de concentração de fluorita e o segundo com um concentrado obtido na coluna de flotação operando como etapa *rougher*. Nesse estudo, com a utilização da coluna como etapa *cleaner*, foram obtidos, em uma única etapa de limpeza, valores de até 95% de fluorita.

A partir dos resultados, é possível afirmar que a coluna de flotação se mostra um eficiente equipamento a ser empregado na flotação do minério de fluorita do Paraná, apresentando valores de recuperação, assim como seletividade, mais elevados do que aqueles observados no sistema de flotação convencional. Assim sendo, a coluna de flotação pode ser considerada uma rota tecnicamente adequada para o aproveitamento, concentração e controle de qualidade de fluorita.

PALAVRAS-CHAVE: Processamento mineral, coluna de flotação, fluorita.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os processos utilizados no tratamento de minérios, a flotação se destaca como um dos mais importantes processos metalúrgicos, sendo este um processo de separação de partículas minerais, que explora diferenças nas características interfaciais das várias espécies mineralógicas presentes em um determinado sistema.

Este processo tem sido exaustivamente estudado ao longo tempo pelos mais diversos pesquisadores, nos mais variados sistemas e, de uma forma geral, ainda permanece subentendido, segundo a avaliação de diversos pesquisadores (King, 1982; Fuerstenau, 1988; Finch e Dobby, 1991a, 1991b; Bazin e Proulx, 2001). Mesmo assim, com base em décadas de estudos, foram desenvolvidos distintos equipamentos para a otimização e o controle o processo de flotação.

Neste contexto, a flotação em colunas aparece, particularmente nas últimas décadas, como a alternativa mais promissora e eficiente para concentração de partículas de determinados tamanhos, quando em comparação com as células convencionais de flotação. Neste particular, o emprego deste equipamento tem sido bem sucedido, principalmente para sistemas minerais contendo partículas finas.

De uma forma geral, se pode concluir que as vantagens metalúrgicas das colunas de flotação, em sistemas contendo partículas minerais finas, se devem a fatores como o emprego da água de lavagem na zona de espuma, a qual elimina efetivamente a recuperação não seletiva de ganga, devido ao arraste hidrodinâmico. Isso, associado ao contato em contracorrente entre as bolhas de ar (geradas na base da coluna) e a polpa (injetada a cerca de 2/3 da altura total), assim como às condições de fluxo mais tranquilas, devido à ausência de agitação mecânica, fazem da coluna um meio ideal para o processamento de finos minerais (Espinoza-Gomez *et al.*, 1998; Cabral, 1995).

Pesquisadores, citados por Lopez (1991), definem a coluna de flotação como um reator químico, que emprega bolhas de ar. Estes reatores são caracterizados pela forma de contato, onde uma fase descontínua (bolhas de ar) se movimenta em contracorrente, ou em concorrente, com relação a outra fase contínua, que pode ser um líquido ou uma polpa de minérios.

A coluna de flotação, apresentada na figura 1, é dividida de duas zonas:

✓ Zona de coleção: também denominada zona de polpa ou de recuperação. É a parte intermediária da coluna, que representa entre 75 e 80% da altura total da coluna. A alimentação é feita abaixo do topo da coluna, aproximadamente a 1/3 da altura total da coluna e desce em contracorrente às bolhas de ar, geradas na base da coluna através de um borbulhador. Nessa região ocorrem os fenômenos básicos de coleta das partículas, colisão bolha-partícula seguida por adesão, devido à natureza hidrofóbica da superfície mineral ou arraste das partículas. O conteúdo de ar nesta zona, denominado *hold up*, fica entre 10 e 20%.

✓ Zona de espuma: também denominada de enriquecimento ou de limpeza, é a região constituída por uma camada de espuma, onde as bolhas mineralizadas podem ser "lavadas" por um fluxo de água em contracorrente, denominado água de lavagem. Este fluxo de água tem a função de evitar o transporte não específico (arraste) de partículas hidrofílicas de ganga para o concentrado. O *hold up* nesta região varia entre 60 e 90%. A interface com a zona de coleção geralmente é bem definida por causa da grande diferença na concentração de bolhas.

A polpa utilizada para alimentar a coluna é condicionada externamente, sendo que não há adição de reagentes dentro da coluna.

Com relação ao *bias*, Persechini *et al.* (2001), analisando diversos autores concluem que o mesmo é definido de distintas maneiras. A forma mais simples de definição é a apresentada por Finch e Dobby (1990), na qual esse parâmetro é apresentado como vazão residual de água que desce através da camada de espuma. Dobby e Kosick, citados por Persechini *et al.* (2001) definem o *bias* como a diferença entre a velocidade superficial de água de lavagem e a velocidade superficial de água no flotado. Sob o ponto de vista de controle, a definição mais usada é a diferença entre a vazão do rejeito e a vazão da polpa de alimentação, expressa em termos de velocidade superficial. Normalmente, uma coluna de flotação é operada de tal forma que a vazão volumétrica do rejeito é maior que a vazão de alimentação. A diferença entre estas vazões é compensada por um fluxo de água descendente através da espuma à zona de coleção. Nestas condições, a coluna está operando em *bias* positivo.

A coluna de flotação também pode trabalhar com um *bias* negativo, quando a vazão volumétrica de alimentação é maior que a de rejeito. Esta forma de operação tende a favorecer o tratamento de partículas grossas, sendo que se pode reduzir ou mesmo eliminar a zona de espuma, obtendo com isso uma alta cinética de flotação. A velocidade superficial do fluxo de *bias* geralmente está entre 0,1 e 0,3 cm/s.

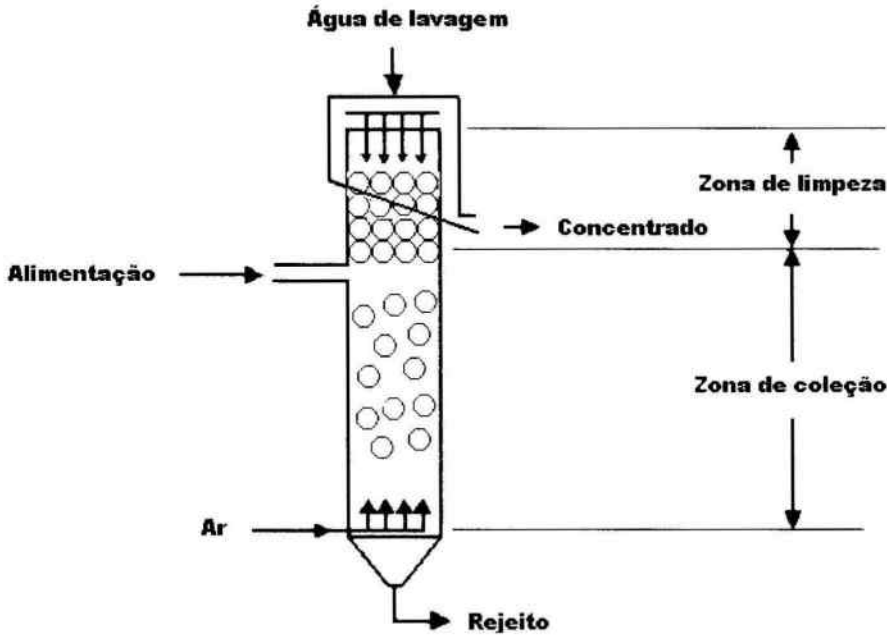


Figura 1. Representação do processo de flotação em coluna.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

O sistema de flotação em coluna foi instalado na planta concentradora da Mineração Nossa Senhora do Carmo (MNSC), localizada na 2ª Linha Torrens, no Município de Morro da Fumaça, Santa Catarina, onde foram realizados todos os ensaios. O minério estudado possui cerca de 45% de fluorita, 30 de silicatos (quartzo e/ou feldspatos), 3% de carbonatos, 22% de agregados férricos (piritizações, hematita, limonita) e traços de micas, epidoto, turmalinas, etc.

Para os ensaios em que a coluna de flotação operou como etapa *rougher* a amostragem foi feita por um desvio entre o tanque de condicionamento e a primeira célula do banco *rougher*. Nos ensaios *cleaner*, realizados com o concentrado da planta, foi feito um desvio na saída da calha de coleta dos concentrados do banco *rougher*. Nos ensaios *cleaner* com concentrado da coluna, este foi amostrado durante 4 horas e armazenado em tanques de 200 litros. Prévio à coluna havia um tanque de condicionamento de 500 litros, que recebia o material a ser processado. Os reagentes utilizados foram: silicato de sódio (340 g/t), amido (590 g/t), tanino (quebracho) (250g/t) e *Tall oil* à concentrações variáveis.

Tanto o silicato quanto o amido foram dosados na saída do classificador espiral, indo para o primeiro tanque de condicionamento, com tempo de residência de aproximadamente 5 minutos. Deste tanque a polpa segue para outro tanque onde é adicionado o tanino. O tempo de residência neste tanque é de aproximadamente 3 minutos. Na saída deste tanque, na canaleta que conduz à primeira célula do circuito de flotação é adicionado o *tall oil*. O pH de operação foi 10.

2.2 Ensaios de flotação em coluna

A coluna de flotação empregada nos ensaios foi construída a partir de tubulações de policloreto de vinila (PVC) com diâmetro interno de 98 mm e altura de 3 metros, sendo composta por módulos de 1 metro cada. Em todos os ensaios, a alimentação foi fornecida à coluna, em forma de polpa, a partir de um tanque de condicionamento, com capacidade para 500 litros, com adequada agitação, evitando assim a sedimentação das particuladas. As concentrações de sólido, em peso, variaram conforme condições operacionais da planta industrial.

A alimentação foi injetada a uma altura de cerca de 2 metros da base, através de uma bomba pneumática; o concentrado, recolhido no topo da coluna em uma caixa de acrílico, foi coletado por gravidade. O fluxo de rejeito foi removido na base da coluna, também com auxílio de uma bomba pneumática. As vazões de alimentação e rejeito eram controladas pelas pressões empregadas nas bombas, e o controle (vazão medida em litros por minuto) era realizado antes de cada coleta de concentrado/rejeito.

Para a geração de bolhas, foi utilizado um borbulhador de aço sinterizado, o qual foi posicionado na base da coluna. A água de lavagem foi adicionada através de um "chuveirinho", no topo da coluna, 5 cm abaixo do topo da camada de espuma. Os fluxos de ar e água de lavagem foram controlados por rotâmetros.

Os ensaios foram realizados em função da concentração de *tall oil*, da velocidade superficial de ar e água de lavagem. Após a coluna entrar em regime de equilíbrio eram realizadas as amostragens, sendo que estas foram realizadas durante um período de 10 segundos. A seguir era variado o parâmetro analisado, esperava-se durante quinze minutos até atingir novamente o equilíbrio e fazia-se nova amostragem. Ao final dos ensaios as amostras eram secas, preparadas e enviadas para análise química. Os resultados foram avaliados em termos de recuperação e teor. Os sistemas estudados foram:

- **Ensaios rougher com água de lavagem.** As condições destes ensaios foram: velocidade de bias positivo de cerca de 0,2 cm/s e velocidade da água de lavagem: entre 0,33 cm/s e 1 cm/s e velocidade superficial de ar entre 1,1 e 1,5 cm/s.
- **Ensaios cleaner com concentrado da planta.** As condições destes ensaios foram: velocidade de bias positivo de cerca de 0,3 cm/s e velocidade da água de lavagem: entre 0,33 cm/s e 0,44 cm/s e velocidade superficial de ar entre 1,1 e 1,5 cm/s.
- **Ensaios cleaner com concentrado da coluna.** As condições destes ensaios foram: velocidade de bias positivo de cerca de 0,3 cm/s e velocidade da água de lavagem: entre 0,33 cm/s e 0,44 cm/s e velocidade superficial de ar entre 1,1 e 1,5 cm/s.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo o principal problema foi a falta de um sistema de homogeneização, prévio à planta de concentração da MNSC. Como as amostras que alimentavam a coluna de flotação eram tomadas diretamente do tanque de condicionamento não foi possível obter uma corrente homogênea na alimentação da coluna de flotação. Como exemplo, podem ser citados ensaios que apresentaram concentrações de sólidos, no fluxo de alimentação, entre 40% e 50%. Esse problema se deve ao sistema de distribuição de água na etapa de classificação o que acaba resultando em diferentes concentrações de sólidos na polpa de alimentação, a qual deveria ficar em torno de 30% de sólidos em peso. Entretanto, a maioria dos ensaios a concentração de sólidos ficou abaixo de 30%.

Nesse sentido, a primeira observação diz respeito a necessidade de um sistema de controle de qualidade (homogeneização / controle dos fluxos de distribuição de água) do fluxo de alimentação à usina. Mesmo para o atual sistema de concentração, uma alimentação homogênea facilitaria o controle do processo.

3.1 Banco rougher atual

A análise do banco rougher, durante o período desse estudo, atual mostrou que a flotação de fluorita ocorre efetivamente nas primeiras cinco células de flotação. Nas células seguintes é mínima a recuperação mássica de concentrado, sendo que bastante provável que haja mais consumo de energia do que compensação financeira e/ou de processo nessa parte do circuito.

Esta análise também mostrou que a recuperação de fluorita nessa etapa do processo fica entre 70% e 85% em função das variações na corrente de alimentação da planta concentradora. O teor de fluorita na alimentação variou entre 35% e 40% e os teores no concentrado rougher ficaram entre 70% e 82%.

3.2 Ensaios com alimentação do circuito rougher da planta da MNSC e água de lavagem.

A tabela 1 apresenta a primeira bateria de ensaios em coluna de flotação, realizados na planta concentradora da MNSC. Nesse sistema a coluna operou como etapa *rougher* e os resultados são apresentados em função da concentração de *tall oil*, concentração de sólidos na polpa de alimentação (Cp/p) e das velocidades superficiais do ar e da água de lavagem.

Tabela 1. Ensaios em coluna de flotação como etapa rougher e com a utilização de água de lavagem.

Ensaio	Tall oil (g/t)	Cp/p (%)	Var (cm/s)	Recup. CaF ₂ (%)	Teor CaF ₂ (%)	H ₂ Olav (cm/s)
1	100	47	1,1	75	90,44	0,4
2	110	26	1,1	72	91,96	0,4
3	110	38	1,1	69	87,40	0,4
4	130	21	1,1	63	79,80	0,4
5	130	31	1,5	83	77,60	0,4
6	130	41	1,1	74	79,80	0,4
7	140	22	1,5	85	77,52	0,4
8	140	23	1,1	86	82,08	0,4
9	170	15	1,1	89	85,12	0,4
10	220	22	1,1	91	76,00	0,4
11	220	27	1,1	89	79,04	0,4
12	250	20	1,1	92	83,60	0,4
13	250	23	1,1	87	82,08	0,4
14	340	18	1,1	91	77,90	0,3
15	340	23	1,1	95	71,44	0,3
16	340	26	1,5	70	83,60	0,4
17	350	13	1,1	92	77,36	0,4
18	350	16	1,1	88	82,08	0,4
19	350	17	1,1	87	78,28	0,4
20	350	27	1,5	53	88,90	0,4
21	350	28	1,1	59	88,70	0,4
22	360	17	1,1	93	85,88	0,3
23	360	21	1,1	90	78,28	0,3
24	365	18	1,1	91	78,28	0,7
25	365	27	1,1	83	81,32	1,0
26	390	22	1,1	69	83,60	0,4
27	400	18	1,1	54	77,52	0,4
28	400	21	1,1	87	87,40	0,4
29	400	33	1,1	89	84,36	0,4
30	570	25	1,1	83	65,36	0,4

Tendo em vista o fato de que a adição de *tall oil* na etapa de condicionamento da coluna de flotação resultou em diferentes concentrações de *tall oil* alimentando a coluna, em função da quantidade de material sólido na corrente amostrada, procurou-se, nessa análise, associar grupos semelhantes. Conforme assinalado na tabela 1, com este artifício ficamos com quatro grupos.

O primeiro grupo corresponde a concentrações de *tall oil* entre 100 e 140 g/t. Essa etapa do estudo mostrou uma variação bastante grande da concentração de sólidos na polpa de alimentação da coluna, variando entre 21% e 47%, sendo que os melhores resultados foram observados para valores de concentração de sólidos em torno de 20%. Nesse intervalo de concentração de sólidos a recuperação de fluorita chegou à cerca de 86% com teores da ordem de 82% de CaF₂. O intervalo de velocidade superficial de ar, empregado nos ensaios, não influenciou de forma significativa os resultados nesse primeiro grupo de ensaios.

No segundo grupo, com concentrações de *tall oil* entre 170 e 250 g/t, a concentração de sólidos não apresentou uma grande variação, ficando entre 15% e 27%. Os melhores resultados mostraram recuperações acima de 90% de CaF_2 e teores no intervalo de 80 a 85%.

O mesmo comportamento é observado no terceiro grupo. Nesse grupo de ensaios, os menores valores de concentração de sólidos apresentaram os melhores resultados, ainda que não houvesse uma grande variação nos valores observados. Para esses ensaios as recuperações fluorita foram todas próximas de 90%, atingindo um máximo de 95% para uma concentração de sólidos de 23% e uma velocidade superficial de ar de 1,1 cm/s. Os teores mais elevados foram observados quando do emprego de maiores velocidade de água de lavagem, ainda que esses ensaios registrassem menores valores de recuperação.

Os ensaios seguintes não apresentaram incrementos significativos nos parâmetros de separação, recuperação e teor, que justifiquem a utilização de altas concentrações de coletor em coluna de flotação.

3.3 Ensaios que utilizaram o concentrado *rougher*, da planta da MNSC, como alimentação para a coluna de flotação, operando na etapa *cleaner*

Nessa etapa do estudo, foi analisada a possibilidade de se manter um banco *rougher* de células convencionais de flotação e utilizar a coluna apenas na etapa de limpeza. Os resultados são apresentados na tabela 2.

Nessa bateria de ensaios, os valores de concentração de sólidos ficaram no intervalo previsto (entre 10 e 20%) o que parece ter influenciado de forma positiva o processo. Também foi observado que a vazão de ar e a adição de água de lavagem, nos intervalos empregados, não apresentaram um efeito mais significativo ao sistema. Com relação à concentração de *tall oil*, se percebe um ligeiro aumento nos valores de recuperação com a adição do coletor, em detrimento ao teor de concentrado. Porém, nesse sistema em particular onde o objetivo é a limpeza do concentrado, a não utilização de coletor não só se mostrou mais eficiente em termos de parâmetros metalúrgicos, mas também representa vantagens econômicas. Nos ensaios sem adição de *tall oil* os resultados mostram recuperações em torno de 80% e teores de 91% de CaF_2 , para todas as condições operacionais analisadas.

Tabela 2. Ensaios de flotação em coluna, alimentada com o concentrado do banco *rougher*. A coluna de flotação operando como um banco *cleaner*.

Ensaios	Tall oil (g/t)	Cp/p (%)	Var (cm/s)	Recup. (%)	Teor (%)	H ₂ Olav (cm/s)
31	0	12	1,1	74	91,20	0,3
32	0	13	1,5	84	91,96	0,3
33	0	15	1,1	78	91,20	0,4
34	0	18	1,5	82	91,20	0,4
35	50	8	1,1	86	86,64	0,3
36	50	10	1,5	94	88,92	0,3
37	50	10	1,5	91	87,40	0,4
38	50	12	1,1	85	89,68	0,4
39	100	8	1,5	81	88,92	0,3
40	100	12	1,1	83	88,16	0,3
41	100	12	1,5	90	89,68	0,4
42	100	12	1,1	90	88,92	0,4

3.4 Ensaios que utilizaram o concentrado da própria coluna (*rougher*) como alimentação para a coluna de flotação, operando como banco *cleaner*.

Nesses ensaios, as concentrações de sólidos ficaram entre 12% e 17%. Não foi adicionado reagente nessa etapa o que poderia justificar os baixos valores de recuperação obtidos. Entretanto é possível observar, em comparação com os resultados apresentados na tabela 2, que os valores para recuperação de fluorita são bastante próximos (quando da ausência de coletor) e os teores de concentrado são mais elevados.

Tabela 3. Ensaios de flotação em coluna, alimentada com o concentrado da coluna operando como banco *rougher*. Coluna operando como *Cleaner*.

Ensaios	Tall oil (g/t)	Cp/p (%)	Var (cm/s)	Recup. (%)	Teor (%)	H ₂ O lav (cm/s)
43	0	12	1,1	69	94,01	0,4
44	0	14	1,5	76	87,40	0,4
45	0	14	1,1	56	94,04	0,4
46	0	17	1,5	52	95,54	0,4
47	0	16	1,1	75	92,48	0,4
48	0	17	1,5	74	92,79	0,4

Nesse sistema, se justificam mais ensaios com o objetivo de melhorar a recuperação, sem afetar de forma significativa os valores de teor de fluorita ou então considerar uma segunda etapa de limpeza.

4 CONCLUSÕES

A coluna se mostrou bastante eficiente, tanto na etapa *rougher* como *cleaner*, mesmo operando com concentrações de sólidos bastantes elevadas. Em comparação ao concentrado *rougher* atual a coluna de flotação apresenta uma significativa vantagem de fornecer um concentrado mais limpo (teor mais elevado) e sem perdas (recuperação), o que pode representar um menor circuito de limpeza posterior. Os melhores concentrados *rougher* apresentaram recuperações de fluorita acima de 90%, com teores na faixa de 85 à 90% de CaF₂.

Com a coluna operando na etapa de limpeza foram observados bons resultados tanto para uma alimentação com concentrado *rougher* obtido em coluna. Os melhores resultados, em relação ao concentrado obtido com flotação convencional, devem estar relacionados à qualidade dos concentrados obtidos na etapa *rougher*. Como *cleaner*, a coluna de flotação atingiu teores de cerca de 95% e sem a utilização de reagente coletor.

Os resultados indicam que a menor velocidade superficial de ar (1,1, cm/s) obtém os melhores resultados. As vazões mais altas em geral resultam em altos níveis de turbulência e diminuição de eficiência de coleta.

A partir dessa análise preliminar e com base nos resultados obtidos, a coluna de flotação se mostrou um equipamento eficiente na concentração de minério de fluorita, com vantagens operacionais e econômicas. Entretanto mais estudos são necessários para a definição e otimização de um sistema industrial de flotação de fluorita em colunas de flotação.

Para projetos futuros devem ser analisadas as viabilidades técnica e econômica de um sistema de homogeneização, para controle da alimentação à usina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAZIN, C and PROULX M. Distribution of reagents down a flotation bank to improve the recovery of coarse particles. *Inter. J. Miner. Process.* v.61, n.1, p.1-12, Jan. 2001.
- CABRAL, S.A. Desenvolvimento de um processo de beneficiamento para o minério sulfetado de chumbo e zinco da Companhia Brasileira do Cobre. Porto Alegre, 1995. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.
- ESPINOZA-GOMEZ, R.; FINCH, J.A. and JONHSON, N.W. Column flotation of very fine particles. *Minerals Engineering*, v.1, n.1, p.3-18, 1988.
- FINCH, J.A and DOBBY, G.S. *Column Flotation*. 1st ed. Oxford: Pergamon Press, 1990 180p.
- FINCH, J.A. and DOBBY, G.S. Column Flotation: A select review. Part I. *Inter. J. Miner. Process.* v.33, n.1-4, p.343-354, Nov. 1991a.
- FINCH, J.A. and DOBBY, G.S. Column Flotation: A select review. Part II. *Minerals Engineering*, v. 4, n 7-11, pp 911-923, 1991b.
- FUERSTENAU, D.W. Flotation science and engineering: Advances and challenges. In: International mineral processing, 16.,1988. Stockholm. *Congress...* Amsterdam: Elsevier Science Publishing Co., 1988. v.10, p.63-80.
- KING, R.P. *Principles of flotation*. 1st. ed. Johannesburg: South African Institute of Mining and Metallurgy, 1982. 268 p.

LOPEZ, D.A.R. Caracterização do sistema de flotação em coluna de finos de fluorita de Santa Catarina. Porto Alegre, 1991. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

PERSECHINI, M.A.M.; JOTA F.G.; OLIVEIRA, M.L.M. e PERES, A.E.C. Instrumentação de uma coluna de flotação piloto para desenvolvimento de técnicas de controle avançadas. Rio de Janeiro CETEM/MCT, 2001. 42 p (Série Tecnologia Mineral 80).