



DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DE BARITA POR FLOTAÇÃO¹

Kelly Ivone Pina Albino²

Marisa Martins³

Laurindo de Salles Leal Filho⁴

Resumo

Este trabalho objetivou o desenvolvimento de uma rota de processo para produzir concentrado com teor de BaSO₄ maior que 92% a partir de um minério oriundo da Bahia que é composto por barita (63%) e silicatos (quartzo e micas). Estudos de caracterização informaram que a liberação das partículas de barita ocorre quando o minério é moído abaixo de 420µm. A rota de processo adotada é composta por moagem (P₈₀=150µm), deslamagem (-37µm) e flotação. A distribuição de BaSO₄ nas lamas foi de 33%. Os melhores resultados obtidos por ensaios de flotação catiônica reversa dos silicatos, realizados em meio básico (pH=10), produziram concentrado contendo somente 89% de BaSO₄ acompanhado de recuperação global (deslamagem + flotação) de barita da ordem de 57%. Por outro lado, os melhores resultados obtidos com flotação aniônica direta da barita com alquil sulfato (Sulfopon F715B), em meio básico (pH=10) geraram um concentrado com teor de BaSO₄ de 94% acompanhados de recuperação global de barita (deslamagem + flotação) de 61%. Uma vez que a liberação da barita ocorre em larga extensão quando o minério é moído abaixo de 420 µm, uma moagem mais grossa, seguida de flotação aniônica direta poderia diminuir as perdas de BaSO₄ nas lamas e, com isto, aumentar a recuperação global de barita através da rota de processo desenvolvida.

Palavras-chave: Barita; Processamento mineral; Flotação.

PROCESS DEVELOPMENT TO CONCENTRATE BARITE VIA FROTH FLOTATION

Abstract

This work aimed at developing a process route to yield a barite concentrate assaying more than 92% of BaSO₄, from an ore from Bahia-Brazil which is composed of barite (63%) and silicates (quartz plus micas). Characterization studies informed that an adequate liberation degree of barite is achieved when the ore is ground minus 420µm. The developed process route is composed of grinding (P₈₀=150µm), desliming (-37µm) and froth flotation. The distribution of BaSO₄ in the slimes was 33%. The best results obtained via cationic reverse flotation of silicates, conducted at pH=10, yielded a concentrate assaying solely 89% of BaSO₄ with 57% of barite overall recovery (desliming + flotation). Conversely, the best results obtained from direct anionic flotation of barite with alkyl sulfate (Sulfopon F715B), conducted at basic medium (pH=10), yielded a concentrate assaying 94% of BaSO₄ (specific gravity of 4,370 kg/m³) and an overall BaSO₄ recovery of 61%. Because adequate liberation of barite is achieved when the ore is ground minus 420µm, coarser grinding (P₈₀~0.30mm) could generate a lower amount of slimes and increase the overall recovery of barite.

Key words: Barite; Mineral processing; Flotation.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Pesquisadora LFIQI. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Dpto. Eng. Minas e de Petróleo

³ Pós-doutoranda. USP. Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

⁴ Professor Titular. USP. Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo



1 INTRODUÇÃO

Concentrados de barita constituem o mais importante insumo mineral que é utilizado na preparação de lama de perfuração de poços de petróleo e gás em todo o mundo.⁽¹⁾ Além desta aplicação, o uso da barita também ocorre na fabricação de tinta, papel, borracha, vidros e vários outros segmentos da indústria.⁽²⁾

Caso se mantenha a atual demanda mundial por petróleo, pode-se esperar com bastante realismo um substancial incremento no consumo de barita e, para fazer frente a esta demanda, também espera-se que novos investimentos ocorram em pesquisa geológica visando encontrar novos depósitos de barita, assim como no desenvolvimento de processos para concentrar os minérios de baixo teor.⁽³⁾

Raramente uma espécie mineral se encontra pura na natureza, ocorrendo geralmente associada a outros minerais.⁽⁴⁾ Assim sendo, matérias-primas minerais raramente podem ser utilizadas pelo homem sem prévio processamento e o conjunto das operações unitárias a que se submete um minério para adequá-lo química e fisicamente às especificações do mercado consumidor denomina-se tratamento (ou beneficiamento) de minérios.

Antes que qualquer técnica de concentração possa ser aplicada a um minério, o mineral de interesse deve estar livre dos demais minerais adjacentes (ganga) visando uma posterior separação seletiva.⁽⁵⁾ A liberação incompleta impõe limites no teor e na recuperação que podem ser atingidos no processo de concentração de tal maneira que o grau de liberação é definido como a percentagem de um dado mineral que se encontra na forma de partículas livres. Partículas que contêm tanto minerais de interesse quanto os de ganga são denominadas mistas. Operações unitárias de britagem e moagem são empregadas para obter tal liberação.

As operações de concentração – separação seletiva de minerais – baseiam-se nas diferenças de propriedades entre o mineral-minério e os minerais de ganga. Entre estas propriedades se destacam: peso específico (ou densidade), suscetibilidade magnética, condutividade elétrica, propriedades de química de superfície, cor, radioatividade, forma, dentre outras.⁽⁶⁾

O beneficiamento empregado para produção de concentrados de barita no Brasil consiste de: britagem, lavagem em classificador espiral e moagem.⁽⁷⁾ A flotação é normalmente usada para recuperação da fração fina ou como processo de beneficiamento de minérios contendo fluorita ou sulfetos como minerais de ganga.

Geralmente, a flotação direta de barita é realizada por coletores aniônicos tais como ácidos carboxílicos, sulfatos e sulfonatos. O coletor utilizado na flotação da barita na Vale-Araxá, por exemplo, é o cetil estearil sulfato de sódio.⁽⁸⁾ Por outro lado, em um sistema contendo silicatos como principal mineral de ganga, como é o caso estudado no presente trabalho, a concentração de barita pode ser promovida através da flotação reversa dos silicatos, utilizando-se uma amina graxa como agente coletor.

O objetivo deste trabalho é de avaliar o grau de liberação do mineral barita em um minério proveniente do estado da Bahia e propor possíveis rotas de concentração por flotação.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção e Preparação da Amostra de Minério

Uma análise mineralógica da amostra foi realizada no LCT (Laboratório de Caracterização Tecnológica de Matérias-Primas Minerais) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP, por Difractometria de raios-X, indicando que a mesma é composta por barita, quartzo e micas.

Para avaliar o estado de liberação da barita, foi necessário realizar cominuição de uma alíquota do minério tal qual em moinho de disco, de modo que 100% de sua massa fosse passante na peneira de 14# (abertura de 1,19 mm). Após cominuição, o produto moído foi submetido a peneiramento a úmido, objetivando determinar a distribuição granulométrica de suas partículas. As frações obtidas foram posteriormente submetidas a ensaios gravimétricos em meio denso para a determinação do grau de liberação da barita.

Para a realização dos ensaios de flotação o minério foi cominuído em moinho de rolos em circuito fechado com a peneira de 18# (1 mm), até a obtenção de todo o material passante nesta abertura. Em seguida, utilizou-se peneira de 65# (0,210 mm) para classificar a amostra passante em 1 mm, buscando evitar sobre-moagem desta no moinho de bolas. Assim, somente o *oversize* em 65# foi cominuído em moinho de bolas de porcelana em uma rotação de ~60 rpm, por 24 minutos, para obtenção de amostra com 20% de sua massa retida em 100# (0,150 mm). O material com um $P_{80} = 0,150\text{mm}$ em conjunto com o -0,210 mm foram submetidos a peneiramento a úmido em 400# (0,037 mm) para a retirada das lammas (< 400#). A amostra retida em 400# foi denominada "Alimentação da Flotação"

2.2 Determinação do Grau de Liberação da Barita

Para avaliar o estado de liberação das partículas de barita, fez-se necessário realizar ensaios de afunda-flutua em meio denso, utilizando-se o bromofórmio, visto que o mesmo apresenta densidade intermediária ($\rho=2,86\pm 0,01\text{ g/cm}^3$) entre a barita ($\rho=4,4\text{ g/cm}^3$) e o quartzo ($\rho=2,65\text{ g/cm}^3$), principal mineral de ganga, permitindo a separação destes dois minerais. Os produtos flutuado e afundado foram lavados exaustivamente com álcool etílico e secados em estufa a 40°C.

As densidades das amostras alimentadas nos ensaios de separação densitária e também dos produtos flutuado e afundado, para cada fração granulométrica analisada, foram determinadas por picnometria, visando avaliar o grau de liberação da barita.

2.3 Ensaios de Flotação

Com o intuito de determinar as melhores condições experimentais para se obter concentrado na especificação desejada ($\text{BaSO}_4 > 92\%$ e densidade $\geq 4,2\text{ g/cm}^3$), duas diferentes rotas de flotação foram investigadas, além das variáveis pH e concentração do coletor: (a) flotação reversa dos silicatos e (b) flotação direta da barita. Os ensaios foram realizados em célula Denver de bancada, a 25°C e rotação de 1.200 rpm.

O coletor utilizado na flotação reversa dos silicatos foi uma éter-amina de nome comercial Lilafлот 811M, fornecida pela empresa AkzoNobel. A dosagem do coletor foi variada em 500 g/t, 750 g/t e 1.000 g/t e pH de flotação igual a 8, 9, 10 e 11 foram testados.

O coletor utilizado na flotação direta da barita foi o Sulfopon F715B, fornecido pela empresa Cognis. A dosagem do coletor foi variada em 250 g/t, 500 g/t, e 750 g/t e o pH de flotação foi mantido em 10.

Cada ensaio de flotação foi identificado através de um código alfanumérico, composto pelo prefixo BRT (em alusão à palavra BARITA) seguido de um número que representa a ordem com que o ensaio foi realizado, por exemplo: o código BRT-01 identifica o primeiro ensaio de flotação realizado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação do Grau de Liberação da Barita

Os resultados dos ensaios de afunda-flutua em bromofórmio são apresentados na Tabela 1 e na Figura 1, onde se pode observar que:

- a liberação das partículas de barita começa a ocorrer abaixo da peneira 35#;
- na faixa granulométrica -35+100# ocorreu a maior liberação da barita, visto que se obteve um produto afundado no bromofórmio com densidade igual a 4,21 g/cm³, valor que ultrapassa a especificação de 4,15 g/cm³; e
- na faixa granulométrica -100#, o produto afundado no bromofórmio apresentou densidade igual 3,85 g/cm³. Acredita-se que a barita se encontre liberada nesta faixa granulométrica e que o fato da densidade ser menor que a apresentada pelo material retido em -35+100# se deve à dificuldade de se promover a separação densitária em frações muito finas.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de afunda-flutua em bromofórmio

Fração (Mesh Tyler)	Recuperação Mássica (%)		Densidade (g/cm ³)		
	Flutuado	Afundado	Alimentação	Flutuado	Afundado
- 14 + 20	43,27	56,73	3,10	2,71	3,45
- 20 + 35	38,73	61,27	3,30	2,68	3,75
- 35 + 100	25,64	74,36	3,69	2,65	4,21
- 100	15,54	84,46	3,55	2,71	3,85
Total Calculado	24,92	75,08	3,50	2,69	3,89

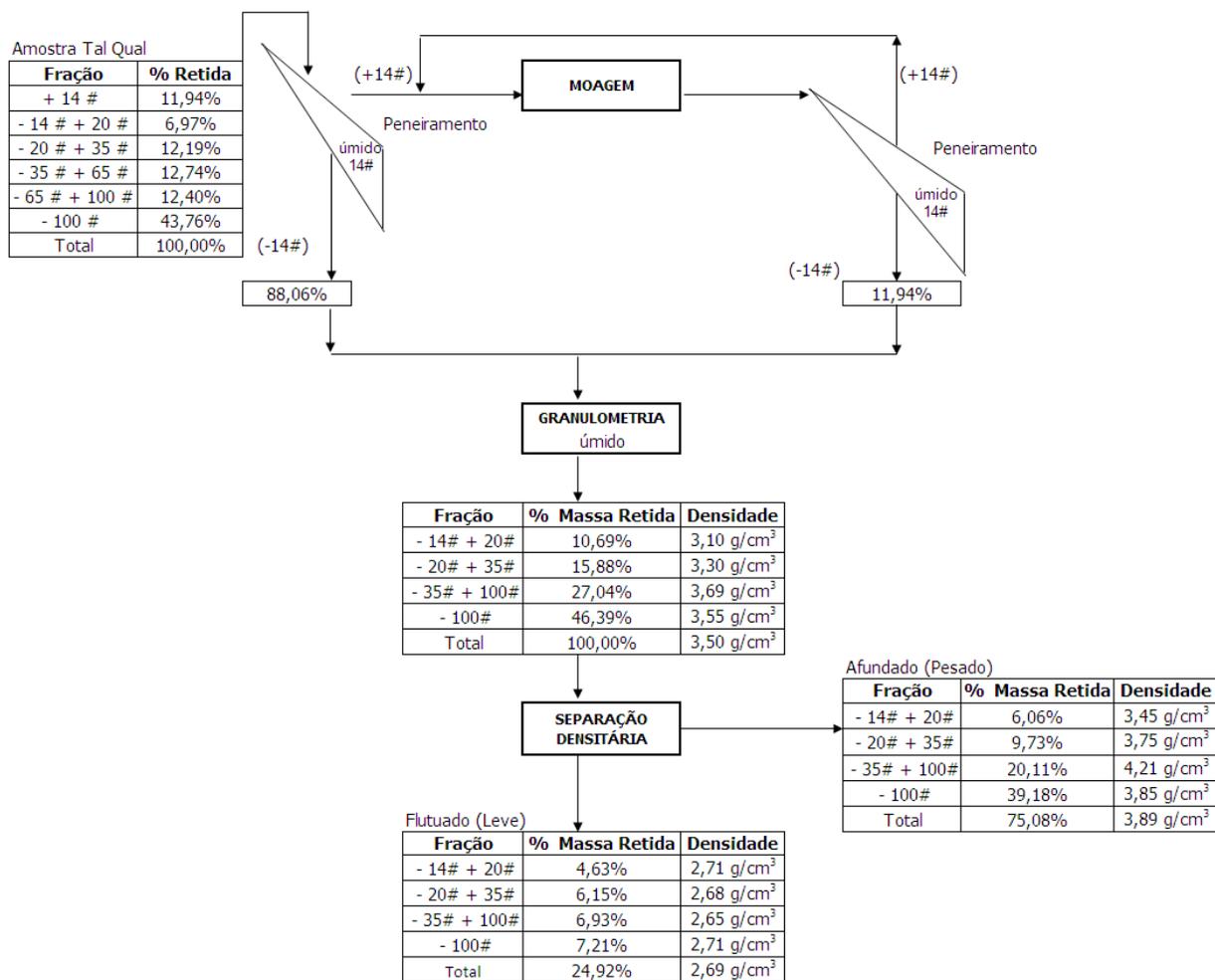


Figura 1- Fluxograma e balanço de massa do procedimento experimental para determinação de grau de liberação da barita.

3.2 Flotação Reversa dos Silicatos – Rota 1

Foram investigadas nesta rota as variáveis dosagem do coletor e pH de flotação. Os resultados dos ensaios podem ser observados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de flotação reversa dos silicatos em função da dosagem do coletor Lilafлот 811M e em pH=10,0

Ensaio	Coletor (g/t)	Teores no AF Rougher (%)			Recuperação no AF Rougher (%)			
		BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Massa	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
BRT-01	500	88,5	8,4	1,2	62,0	86,0	16,2	55,4
BRT-02	750	80,2	16,1	1,5	59,8	74,4	30,5	65,2
BRT-03	1000	79,8	16,2	1,7	52,5	66,0	26,3	60,5

Nota: AF = Produto Afundado

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de flotação reversa dos silicatos em função do pH (dosagem do coletor Lilafлот 811M = 500 g/t)

Ensaio	pH de flotação	Teores no AF Rougher (%)			Recuperação no AF Rougher (%)			
		BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Massa	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
BRT-04	8,0	92,0	3,2	0,7	27,7	41,9	2,7	13,6
BRT-05	9,0	88,4	5,7	1,4	22,9	32,7	4,1	23,1
BRT-06	10,0	85,6	9,9	1,3	62,1	85,6	18,9	55,8
BRT-07	11,0	74,8	20,0	1,5	66,4	80,0	41,0	69,2

Nota: AF = Produto Afundado

Observa-se nas Tabelas 2 e 3 que o melhor resultado foi obtido com uma dosagem de coletor de 500 g/t e pH=10,0, gerando um concentrado com teor de BaSO₄ de 89% e recuperação de 86%.

Na Figura 2 é apresentado um balanço de massa/metalúrgico geral do processo, incluindo a deslamagem da amostra tal qual do minério, e com o melhor resultado da flotação reversa dos silicatos. Observa-se que a recuperação de BaSO₄ que no processo de flotação era de 86% decaiu para 57% ao se considerar a deslamagem.

3.3 Flotação Direta da Barita – Rota 2

Nesta rota foi investigada a variável dosagem do coletor. Os resultados dos ensaios podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de flotação direta da barita em função da dosagem do coletor Sulfofon F715B e em pH=10,0

Ensaio	Coletor (g/t)	Teores no AF Rougher (%)			Recuperação no AF Rougher			
		BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Massa	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
BRT-08	250	96,5	1,0	0,1	44,3	69,5	1,3	3,3
BRT-09	500	94,3	2,4	0,2	61,1	91,1	4,7	12,5
BRT-10	750	93,4	3,8	0,3	61,2	90,1	7,5	14,2

Observa-se na Tabela 4 que o melhor resultado foi obtido com uma dosagem de coletor de 500 g/t e pH=10,0, gerando um concentrado com teor de BaSO₄ de 94% e recuperação de 91%.

Na Figura 3 é apresentado um balanço de massa/metalúrgico geral do processo, incluindo a deslamagem da amostra tal qual do minério, e com o melhor resultado da flotação direta da barita. Observa-se que a recuperação de BaSO₄ que no processo de flotação era de 91% decaiu para 61% ao se considerar a deslamagem.

Comparando-se a Rota 1 (Figura 2) com a Rota 2 (Figura 3), observa-se que a Rota 2 apresentou melhores resultados, gerando um concentrado com maiores valores de teor (94% *versus* 89% de BaSO₄) e recuperação de barita (61% *versus* 57% de BaSO₄), além de menores teores de sílica (2,4% *versus* 8,4% de SiO₂) e ferro (0,3% *versus* 1,2% de Fe₂O₃).

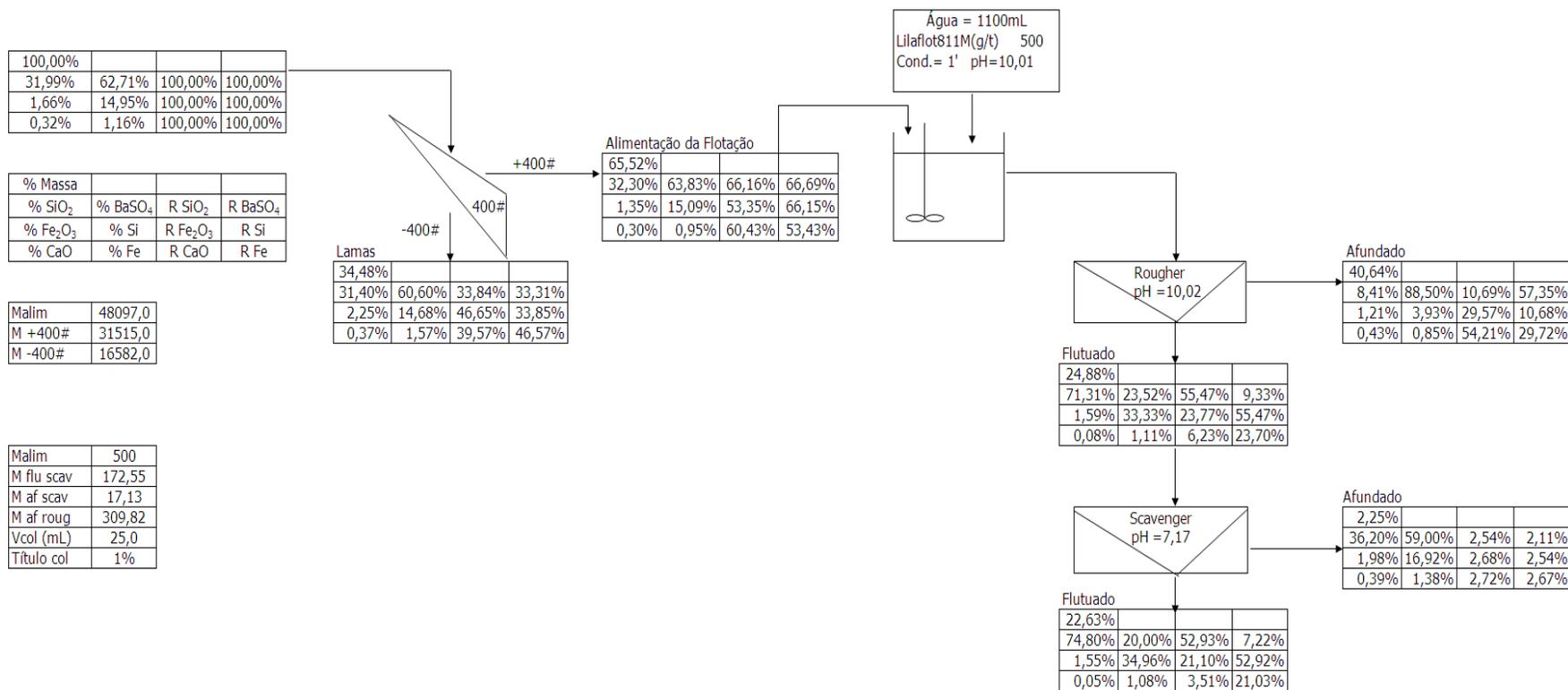


Figura 2 - Balanço de massa/metalúrgico geral do processo – Rota 1.

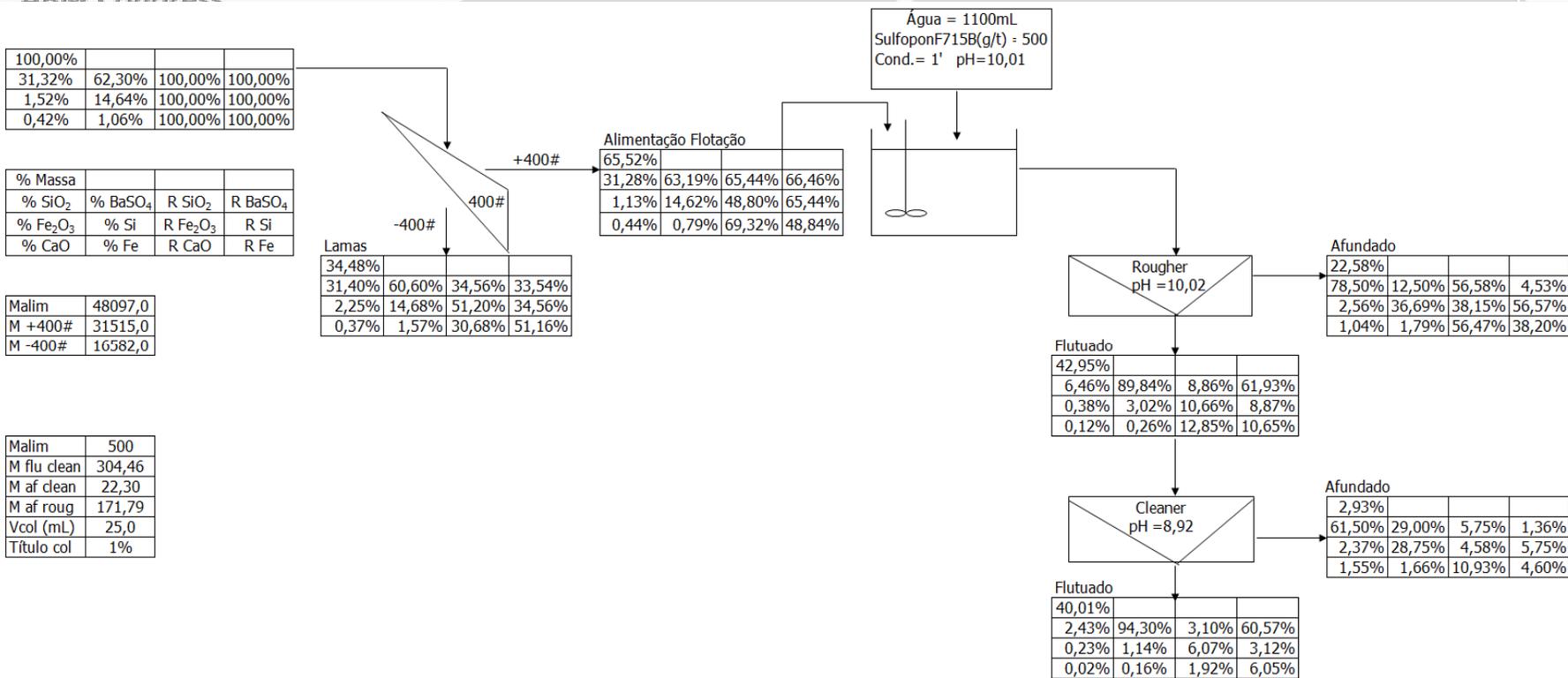


Figura 3 - Balanço de massa/metalúrgico geral do processo – Rota 2.



4 CONCLUSÕES

Dentro do universo desta investigação, é possível concluir que:

- A liberação da barita é satisfatória quando o minério é moído abaixo de 0,42mm (420 μ m), ou seja, passante na peneira de 35# (mesh Tyler);
- A flotação reversa dos silicatos com o coletor Lilafлот 811M em pH=10,0 foi capaz de gerar concentrado com 89% de BaSO₄ apenas, não atingindo a especificação desejada (teor de BaSO₄ > 92% e densidade \geq 4,2 g/cm³);
- A flotação direta da barita com o coletor Sulfopon F715B em pH=10,0 foi capaz de gerar concentrado com 94% de BaSO₄ e densidade de 4,37 g/cm³, atingindo a especificação desejada;
- A rota 2 apresentou melhores resultados que a rota 1, gerando um concentrado com maiores valores de teor (94% *versus* 89% de BaSO₄) e recuperação de barita (61% *versus* 57% de BaSO₄), além de menores teores de sílica (2,4% *versus* 8,4% de SiO₂) e ferro (0,3% *versus* 1,2% de Fe₂O₃);
- A recuperação final de processamento (rota 2) de BaSO₄ foi de apenas 61%. Observou-se que a recuperação de barita na flotação foi de 91% e que uma quantidade considerável de BaSO₄ foi perdida na deslamagem (33%). Uma vez que a liberação da barita é obtida abaixo de 35#, sugere-se a realização futura de ensaios de flotação, utilizando uma amostra cominuída em um P₈₀ < 35# e >100# para aumentar a recuperação final de BaSO₄.

REFERÊNCIAS

- 1 DNPM/CPRM. *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, vol. IV, parte B, Brasília, 1997. p. 215-248.
- 2 BALTAR, C.A.M., LUZ, A.B. *Barita*. In. Rochas e Minerais Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/CTM, 2005. p. 263 – 277.
- 3 ARAÚJO, R.M., *Sumário Mineral 2008 - Barita*, Rio Grande do Norte: DNPM/RN, 2007.
- 4 CHAVES, A.P., *Teoria e prática do tratamento de minérios*. 2 ed. São Paulo: Signus Editora, 1996. 2v.
- 5 LEJA, J. *Surface chemistry of froth flotation*. New York: Plenum Press, 1982.
- 6 LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A., ALMEIDA, S.L.M, *Tratamento de Minérios*, 4ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.
- 7 PAPINI, R.M., ARAUJO, A.C., LEITE, A.P., SILVA, R.C., Estudo de rotas de concentração para amostras de barita. *REM: R. Esc. Minas*, Ouro Preto, v. 60, n. 3, p. 483 – 490, julho, 2007.
- 8 GUIMARÃES, R.C., *Separação de barita em minério fosfático através de flotação em coluna*, 1995. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.