

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS**  
**MINERAIS**

**JOSÉ ANTÔNIO DE ALMEIDA**

**A INFLUÊNCIA DE REAGENTES AUXILIARES DE FILTRAGEM SOBRE A**  
**FORMAÇÃO E UMIDADE DE TORTAS DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO**

**MINAS GERAIS**

**2022**

José Antônio de Almeida

**A INFLUÊNCIA DE REAGENTES AUXILIARES DE FILTRAGEM SOBRE A  
FORMAÇÃO E UMIDADE DE TORTAS DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Recursos  
Minerais - UFMG como requisito para  
obtenção do título de especialista em  
Engenharia de Recursos Materiais.

Orientador: George Eduardo Sales  
Valadão

Minas Gerais

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

UFMG

## ATA DA DEFESA DO ARTIGO DO ALUNO JOSÉ ANTÔNIO DE ALMEIDA

Realizou-se, no dia 28 de outubro de 2022, às 08:00 horas, na Plataforma TEAMS da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa do Artigo intitulado "A INFLUÊNCIA DE REAGENTES AUXILIARES DE FILTRAGEM SOBRE A FORMAÇÃO E UMIDADE DE TORTAS DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO" apresentado pelo aluno JOSÉ ANTÔNIO DE ALMEIDA, número de registro 2020740642, graduado no curso de ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. George Eduardo Sales Valadão - Orientador, Prof. Roberto Galery (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof. Luiz Cláudio Monteiro Montenegro (Universidade Federal de Minas Gerais).

A Comissão considerou a defesa do artigo:

Aprovada

Reprovada

Nota: 90,0

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

  
Prof. George Eduardo Sales Valadão (Doutor)

  
Prof. Roberto Galery (Doutor)

  
Prof. Luiz Cláudio Monteiro Montenegro (Doutor)

  
Risia Magriotis Papiri  
Coordenadora do Curso de Especialização  
em Engenharia de Recursos Minerais

  
Aurea Domingos  
Secretaria do Curso de Especialização  
em Engenharia de Recursos Minerais

## RESUMO

Métodos alternativos à disposição de rejeitos em barragens, como o empilhamento a seco, mostram-se cada vez mais importantes no cenário da mineração especialmente no que diz respeito ao beneficiamento de minério de ferro. O desaguamento final dos rejeitos, visando o empilhamento, é realizado normalmente por filtração. Reagentes auxiliares (agregantes e surfatantes) podem melhorar o desempenho da filtração. No presente estudo foram testados reagentes auxiliares que podem melhorar o desempenho da filtração: floculantes não iônicos, coagulantes catiônicos orgânicos e um surfatante. O objetivo deste trabalho foi encontrar a melhor condição para a filtração de rejeito de minério de ferro. Os testes de filtração foram realizados em laboratório, utilizando montagem do teste de folha ("leaf-test"). Os resultados indicaram uma queda na umidade de até 2,8 pontos em relação ao teste em branco sem aplicação de produtos auxiliares de filtração, a adição do floculante reduziu o tempo da formação da torta aumentando a produção. Em dosagem baixas, não houve aumento da umidade. Verificou-se que a adição do surfatante causou redução da umidade de torta, e uma produção menor. A adição do coagulante orgânico proporcionou aumento da produção sem aumento da umidade, em dosagem mais baixa. Testes preliminares de filtração de rejeito de minério de ferro realizados em escala industrial, demonstraram potencial tanto na aplicação do floculante, em dosagem baixas, quanto a aplicação do coagulante, aumentando a produção em 50% e reduzindo a umidade na torta.

**Palavras-chave:** Leaf-test; Reagentes auxiliares; Umidade; PH; Filtração; TUF.

## ABSTRACT

Alternative methods for the disposal of tailings in dams, such as dry stacking, are increasingly important in the mining scenario, especially regarding iron ore processing. The final dewatering of the tailings, aiming at stacking, is normally carried out by filtration. Auxiliary reagents (aggregants and surfactants) can improve filtration performance. In the present study auxiliary reagents that can improve filtration performance were tested: nonionic flocculants, organic cationic coagulants and a surfactant. The objective of this work was to find the best condition for the filtration of iron ore tailings. The filtration tests were carried out in the laboratory, using the leaf-test assembly. The results indicated a drop in moisture of up to 2.8 points compared to the blank test without the application of filter aids. The addition of the flocculant reduced the cake formation time, increasing the production. At low dosages, there was no increase in moisture. It was found that the addition of the surfactant caused a reduction in cake moisture, but also lower production. The addition of the organic coagulant provided an increase in production without an increase in moisture, at a lower dosage. Preliminary tests of iron ore tailings filtration carried out on an industrial scale, showed potential both in the application of flocculant, at low dosages, and in the application of the coagulant, increasing production by 50% and reducing moisture in the cake.

**Keywords:** Leaf-test; Auxiliary reagents; Moisture; Cake; pH; Filtration; TUF; Iron ore.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1 Efeito do Floculante na Filtragem</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2 Efeito do Coagulante na Filtragem</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3 Efeito do Surfatante na Filtragem</b> .....	<b>14</b>
<b>4.4 Efeito do pH na Polpa de Rejeito</b> .....	<b>15</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>16</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>18</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

A região de Mariana e Brumadinho, localizada no Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais, foi palco da maior tragédia, nos últimos anos, no mundo, com os rompimentos das barragens das minas de Germano e Córrego do Feijão cujo problema se tornou mais evidente.

Sob pressão popular, os órgãos regulatórios criaram regras para barragens de rejeito no país. A nova Lei N° 14.066, de 30 de setembro de 2020, alterou a Lei N° 12.334 de 20 de setembro de 2010 que estabeleceu a política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), resolução que proíbe a utilização do método de alteamento de barragens de mineração, denominado a montante, em todo o território nacional.

No processo de beneficiamento do minério de ferro, rejeitos são gerados que são normalmente dispostos em barragens. Essas barragens ocupam áreas de grandes dimensões que, muitas vezes, antes ocupadas por vegetação, passaram a se tornar um local dedicado apenas para tal armazenamento. Além da questão ambiental local, recentemente, verificou-se a dimensão das tragédias que podem ocorrer pela quantidade de material que compõe tais bacias de disposição.

No momento atual, todas as mineradoras têm que se responsabilizar por um investimento constante para a disposição de material até então sem reaproveitamento e que, conseqüentemente, tem seu volume aumentado. Métodos de disposição alternativos à barragem têm surgido mais recentemente. Dentre estes, o empilhamento a seco parece ser o mais viável em curto prazo utilizando os equipamentos de filtragem para o desaguamento dos rejeitos.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência dos reagentes auxiliares de filtragem (agregantes e surfatantes) na formação, na produção, na umidade final das tortas em polpa de rejeito + lama de minério de ferro do processo de concentração Magnética.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

No contexto de operações unitárias, o termo filtragem refere-se à separação de fase sólida e líquida, ao conduzir a mistura polpa por meio de uma barreira, denominada meio filtrante (PEÇANHA, 2014), é uma das operações mais empregadas na produção de material de baixa umidade. A filtragem visa, não somente à geração

de produtos com elevada concentração de sólidos, para seu transporte ou descarte, mas também à recuperação de água durante o processo de tratamento mineral (QI et al., 2011).

O uso de reagentes auxiliares na filtração é de grande relevância para a indústria mineral, visto que, para a filtração de materiais finos e ultrafinos, o emprego dos reagentes químicos torna-se eficaz na operação dos filtros, sendo capaz de influenciar importantes parâmetros, como a porosidade da torta, resistência específica da torta, umidade da torta e taxa unitária de filtração (produtividade). Os floculantes e coagulantes podem agir, preferencialmente melhorando as condições de formação de torta, enquanto os surfatantes atuam, sobretudo, sobre a tensão superficial da água e/ou sobre a hidrofobização das superfícies das partículas minerais, reduzindo a umidade final da torta.

Um dos primeiros trabalhos, em que se utilizaram reagentes na filtração, foi publicado por Silverblatt e Dahlstrom (1954). Eles mostraram que, com a adição dos surfatantes Aerosol O.T e Tergitol C.W, geravam-se tortas com menores umidades. Amarante et al. (2002), estudando a influência da adição de surfatantes e floculantes, em polpas de minério de ferro, mostraram que houve uma diminuição no tempo de formação de torta com adição de floculante e uma diminuição da umidade na torta com adição do surfatante. Stroh e Stahl (1989) mostraram a influência de surfatantes na filtração de concentrados de carvão. Verificaram que o efeito principal do surfatante é na redução da tensão superficial. Puttock et al. (1986), estudando desaguamento de alumina, mostraram significativas reduções da umidade de torta, por meio da adição de surfatantes.

O uso do coagulante, como auxiliar de filtração, já vem sendo utilizado, na filtração do pellet feed no setor da mineração há alguns anos, em substituição à cal virgem (TURRET et. 2010). Os coagulantes agem da mesma forma que a cal, neutralizando as cargas superficiais.

Coagulantes catiônicos são geralmente adicionados para neutralizar as cargas negativas dos colóides, diminuindo os potenciais repulsivos entre os mesmos e favorecendo os potenciais atrativos de van der Waals. A Figura 1 representa o diagrama de coagulação.

A dinâmica do processo de floculação envolve a absorção do polímero sobre a superfície da partícula. Posteriormente, para superfície parcialmente cobertas, o polímero já absorvido em uma dada partícula pode anexar à superfície de outra



partícula formando pontes (“bridging flocculation”). Na Figura 2 pode-se observar a flocculação de partículas por absorção polimérica. Na Tabela I temos a classificação dos produtos flocculantes em pó pelo seu peso molecular e pela sua nomenclatura.

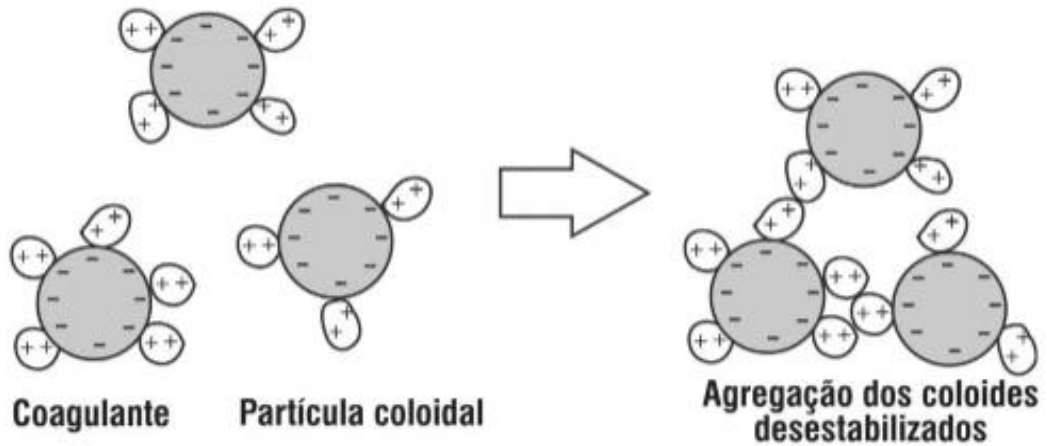


Figura 1-Diagrama de Coagulação (Fonte: Sasaki, 2015).

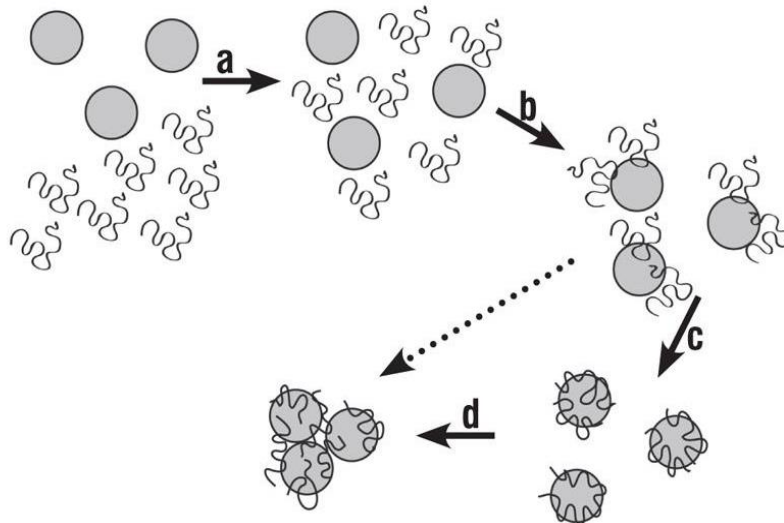
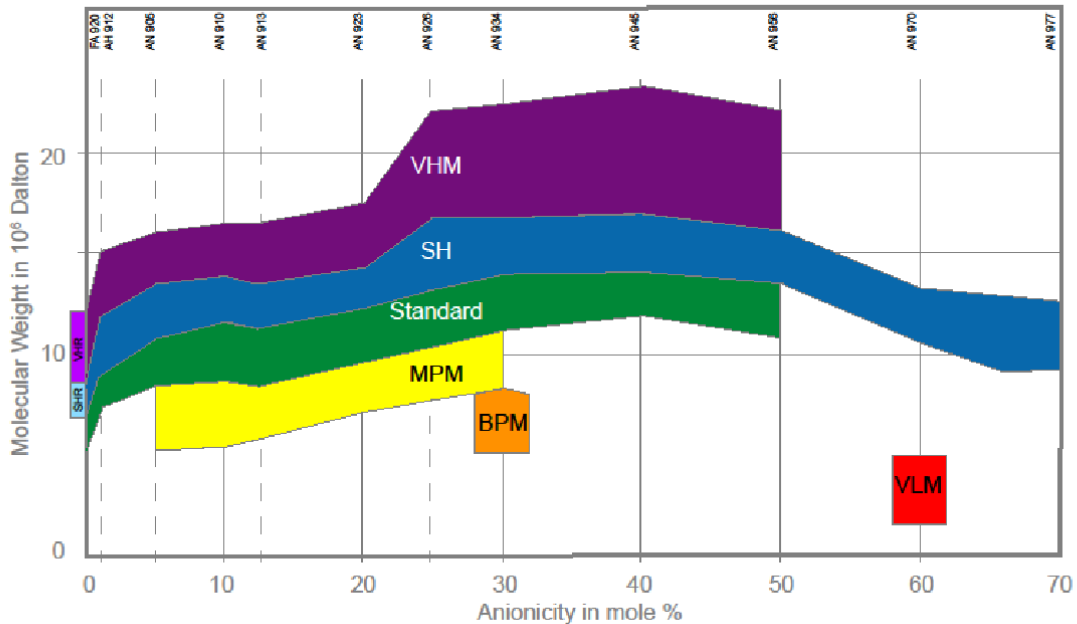


Figura 2- Etapas envolvidas na flocculação de partículas por absorção polimérica (a) mistura, (b) absorção, (c) Rearranjo das cadeias absorvidas e (d) flocculação por “bridging flocculation” (Fonte: Brian Bolto 2007).

Tabela I - Tabela de pesos moleculares de pós aniônicos, catiônicos, não iônicos

*FLOPAM FA 920, AH 912, AN 900*  
*FLOPAM FA 920 R*



Fonte: SNF FLOERGER (2002)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de rejeito é proveniente do processo de tratamento do minério de ferro por concentração magnética, um subproduto das operações de tratamento de minério de ferro da Empresa Herculano Mineração, localizada no Quadrilátero Ferrífero (MG). Essa amostra foi coletada, após o processo de filtragem, homogeneizada, quarteada para análise química, mineralogia e granulometria.

Os ensaios de filtragem seguiram o seguinte procedimento: o vácuo é ligado e com a polpa em leve agitação, mergulha-se totalmente a placa cerâmica (meio filtrante) durante o tempo predeterminado para formação da torta, como na Figura 3. Para medir a umidade final, retira-se uma parte da massa produzida na torta, pesa-se e leva-se para estufa a 100 C por, aproximadamente, 1 hora. Após o resultado da umidade da torta, calcula-se a produtividade “TUF” taxa unitária de filtragem (produtividade final). Tal taxa é o parâmetro, que mede a produtividade da operação de filtragem e a massa seca em relação à área filtrante.

Após nove mergulhos e realizada a limpeza da placa, por meio da retro lavagem, para finalizar a limpeza usa-se o auxílio de um equipamento de ultrassom, passando sobre a placa fazendo a limpeza dos microporos. A permeabilidade da placa foi medida no início e fim de cada teste. Os testes foram realizados com porcentual de sólido em massa de 60%, pH de 7,5, 9,10.

Reagentes utilizados: Floculante comercial em pó, (Flonex FA920SHR) não iônico, coagulante catiônico alta carga, FL 4540, surfatante Flodri DA 470.

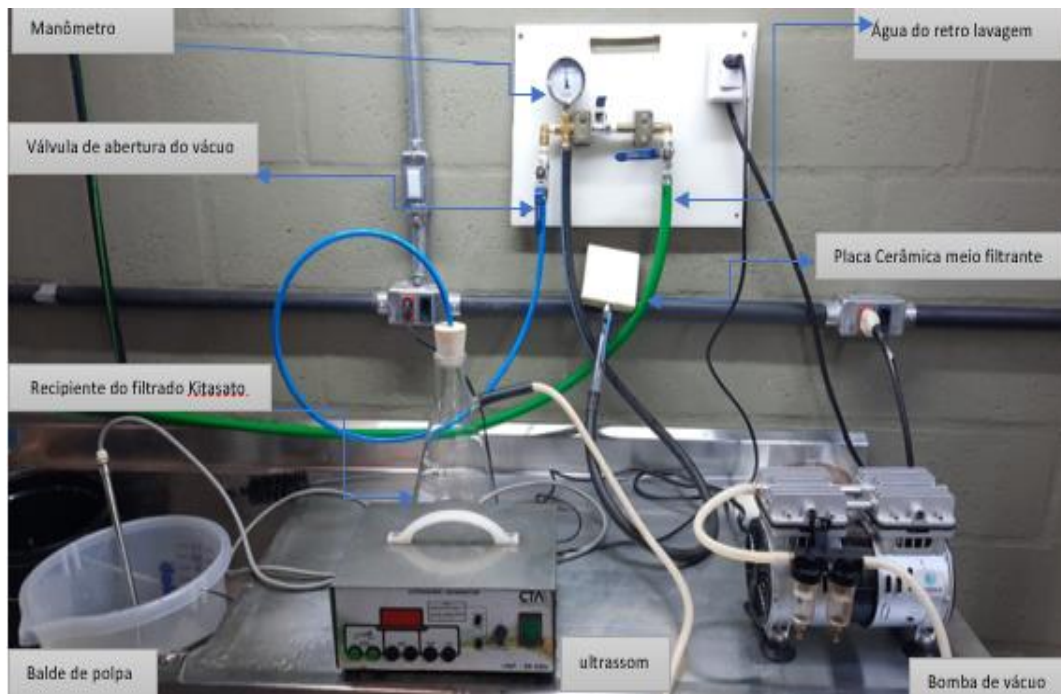


Figura 3 - Montagem do Leaf-test com a placa cerâmica (meio filtrante) utilizado nos testes.

#### 4. RESULTADOS

Os resultados das análises químicas realizados na amostra são apresentados na Tabela II; a análise granulométrica a Laser na Tabela III; e os resultados da composição mineralógica, em porcentagem em peso e em área, nas Tabela IV e V.

A análise mineralógica, via microscópio óptico, indicou um predomínio de quartzo, goehita, martita, hematita lamelar.

Tabela II – Composição química da amostra.

Fe (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	P (%)	Mn (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Fecha-mento	LOI (%)
18.47	2.46	67.67	0.046	0.520	0.161	0.016	0.028	< 0.100	< 0.10	100.16	2.61

Tabela III – Resultados da granulometria a laser.

850 µm	600 µm	425 µm	300 µm	212 µm	150 µm	100 µm	74 µm	52 µm	45 µm	38 µm	30 µm	22 µm	16 µm	10 µm	7 µm	4 µm	2 µm	1 µm	0,5 µm
99.6	98.4	96.6	93.4	86.6	73.6	52.6	38.0	26.6	23.7	21.4	19.1	16.7	14.2	10.8	8.7	5.9	3.4	1.7	0.3

Tabela IV – Composição mineralógica da amostra.

Minerais % em peso												
H. lamelar	H. Granular	H. lobular	Martita	Magnetita	Goethita	Quartzo	Filossilicato	Argilominera	Gibbsita	Manganês	Outros	
14,84	1,04	1,30	8,07	0,26	6,96	63,11	0,56	0,26	1,98	1,17	0,45	

Tabela V – Composição mineralógica em porcentagem por área.

Minerais % em area												
H. lamelar	H. Granular	H. lobular	Martita	Magnetita	Goethita	Quartzo	Filossilicato	Argilominera	Gibbsita	Manganês	Outros	
8,81	0,62	0,77	4,79	0,15	5,72	74,34	0,62	0,31	2,63	0,77	0,46	

Nas Figuras 4 e 5 evidencia-se os resultados da análise mineralógica, via microscópio óptico, indicando o predomínio de quartzo, goethita, martita, hematita lamelar.

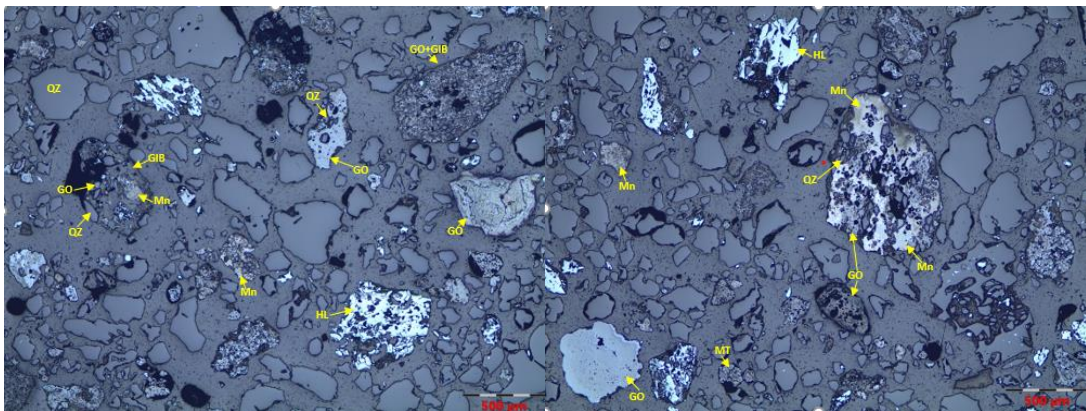


Figura 4 - Fotomicrografia. Luz refletida, nicóis paralelos, objetiva 4X quartzo (QZ), hematita lamelar (HL), goethita (GO), óxido de manganês (Mn), gibbsita (GIB), martita (MT).

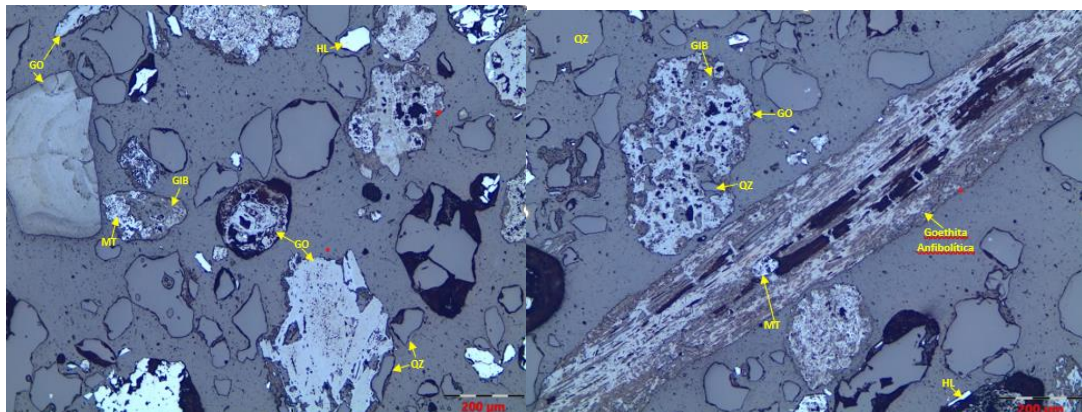


Figura 5-Fotomicrografia, luz refletiva, nicóis paralelas, objetiva 10xquartzo (QZ), hematita lamelar (HL), goethita (GO), martita (MT), gibbsita (GIB).

#### 4.1 Efeito do Floculante na Filtragem

Foi observado que, com a adição do floculante não iônico FA 920 SHR, o tempo de formação da torta diminuiu consideravelmente pela metade do tempo, em relação ao teste em branco. A eficiência da filtragem acompanhou diretamente o aumento da dosagem de floculante na polpa, visto na curva da Figura 6.

Por outro lado, conforme se aumentou a dosagem do floculante, houve aumento da “TUF”, quando comparada ao teste em branco, sem floculante. Outro ponto observado foi o aumento da umidade em relação ao aumento da “TUF”. A escolha de um floculante não iônico sem carga, teve por objetivo não aprisionar água nos flocos formados durante a floculação da polpa.

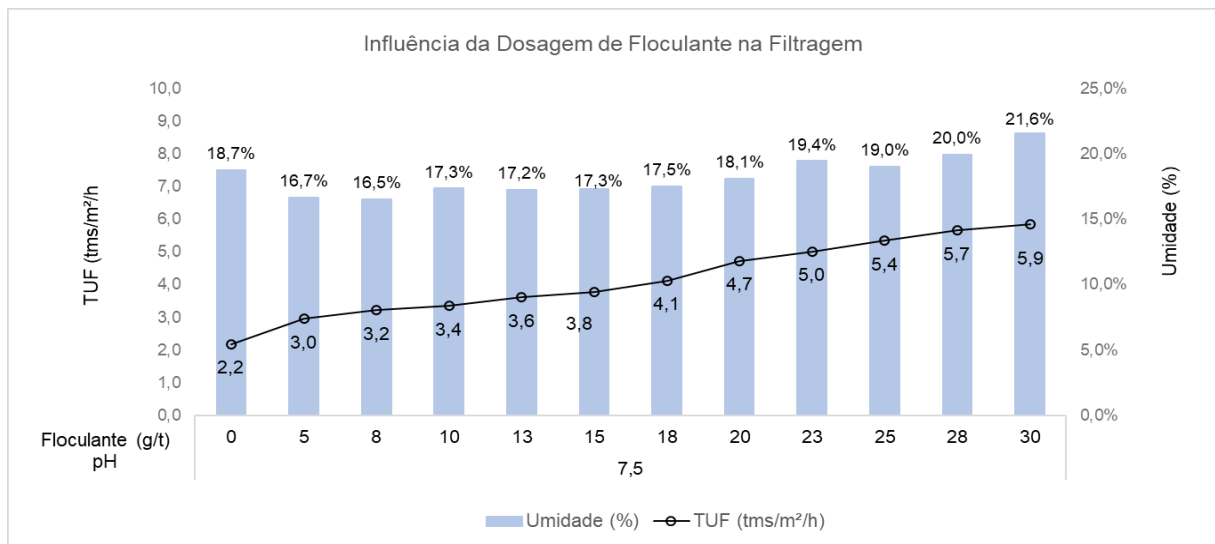


Figura 6 - Dosagem de floculante em função da umidade de torta.

Pode-se observar aumento da umidade, após 20g/t, em razão do aumento do tamanho dos flocos e do aumento da “TUF”.

#### 4.2 Efeito do Coagulante na Filtragem

A atuação do coagulante FL4540 Polidadmec catiônico provavelmente promoveu a desestabilização dos colóides, permitindo a formação de microflocos. Uma das vantagens de utilizar coagulante orgânicos é de não alterar o valor de pH da polpa.

Em comparação ao uso do floculante e ao coagulante, o floculante não iônico, por sua vez, aumentou a produtividade e não houve aumento da umidade em dosagem abaixo de 20g/t. Já no coagulante em pequena dosagem, foi observada a formação de microflocos, baixando a umidade com ganho na produtividade. A “TUF” aumentou consideravelmente, em relação ao teste em branco.

Na Figura 7 pode-se observar o aumento da “TUF” conforme aumento da dosagem do coagulante, mas em paralelo houve aumento da umidade.

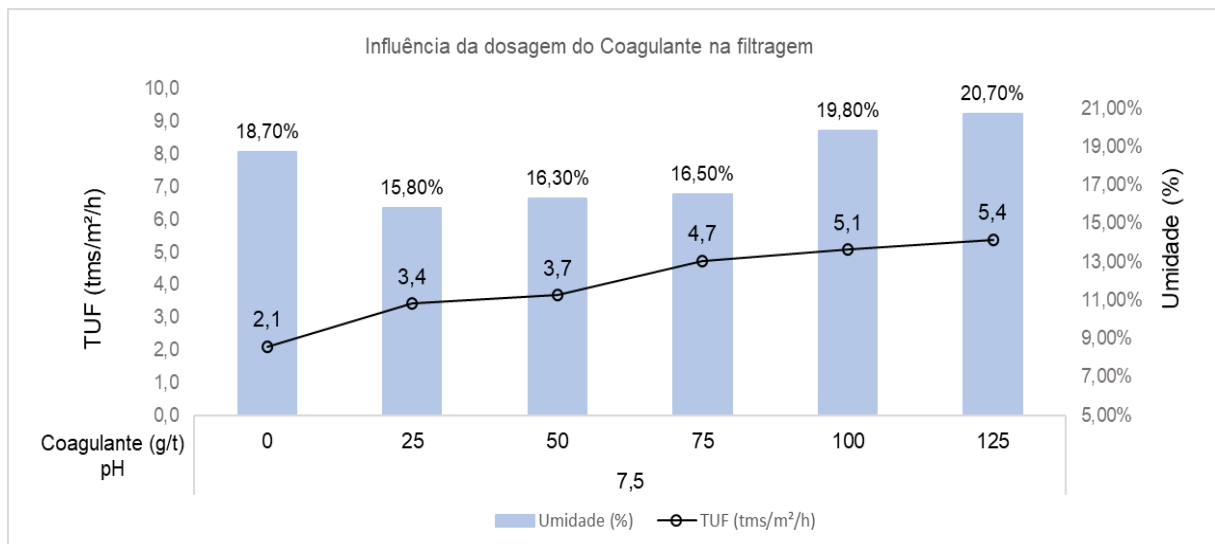


Figura 7: Influência da dosagem do coagulante sobre a umidade e a “TUF”.

Quando se aumenta a dosagem, a umidade aumenta pelo aumento da produção “TUF”.

### 4.3 Efeito do Surfatante na Filtragem

Nos testes com adição de surfatantes, houve uma redução de 2 pontos percentuais de umidade em relação ao teste em branco. Observa-se que durante o teste com surfatante houve formação de espuma no filtrado o que pode representar um problema operacional na recirculação da água na planta.

Outro ponto observado foi a provável queda da permeabilidade da placa, visto na Figura 8, não havendo aumento na “TUF” em relação ao teste em branco. A queda da permeabilidade pode ser a causa da queda de produção. Essa queda de dois pontos percentuais da umidade pode estar relacionada com a queda da produção, quanto menor o valor da “TUF” menor deve ser a água acumulada na torta. Em diferentes valores de pH 7,5, pH 9, pH10, não houve aumento da “TUF”.

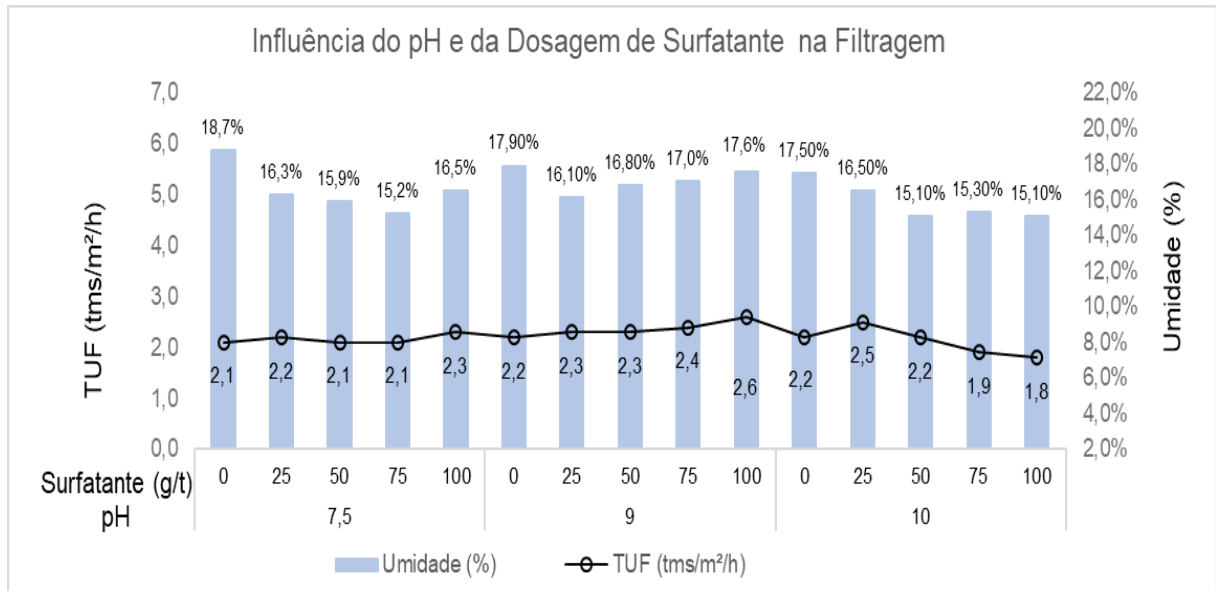


Figura 8: Influência do pH e da dosagem de surfatante na filtragem.

O uso do surfatante demonstrou uma queda na umidade, a qual pode estar relacionada com a permeabilidade da placa, demonstrada na queda da “TUF”.

#### 4.4 Efeito do pH na Polpa de Rejeito

Foi alterado o pH da polpa de 7,5 para pH entre 9 e 10, utilizando a cal vagem, para subir o pH da polpa até o pH de 10. Somente com a dosagem do leite da cal virgem, já se podia observar a coagulação da polpa com pequenos flocos formado. Nos testes de filtragem com valores de pH 9, e pH10, houve ganho de produção. Quando foi adicionado coagulante na polpa, para realizar os testes de filtragem, observou-se ganho de produção em valores de pH 7,5, pH 9, e pH10, e redução da umidade em 2 pontos percentuais, em relação ao teste filtragem em branco.

A melhor coagulação avaliada visualmente foi no pH 10, a polpa ficou mais viscosa, melhorou a formação da torta em menor tempo. Outro ponto observado foi a permeabilidade da placa, pois não houve perda de produção utilizando coagulante em valores de pH 7,5, pH 9, e pH 10. Em pH acima de 9 a formação da torta é mais rápida, a ‘TUF’ subiu em relação ao pH 7,5, causando aumento da umidade, o que pode ser observado na Figura 9.

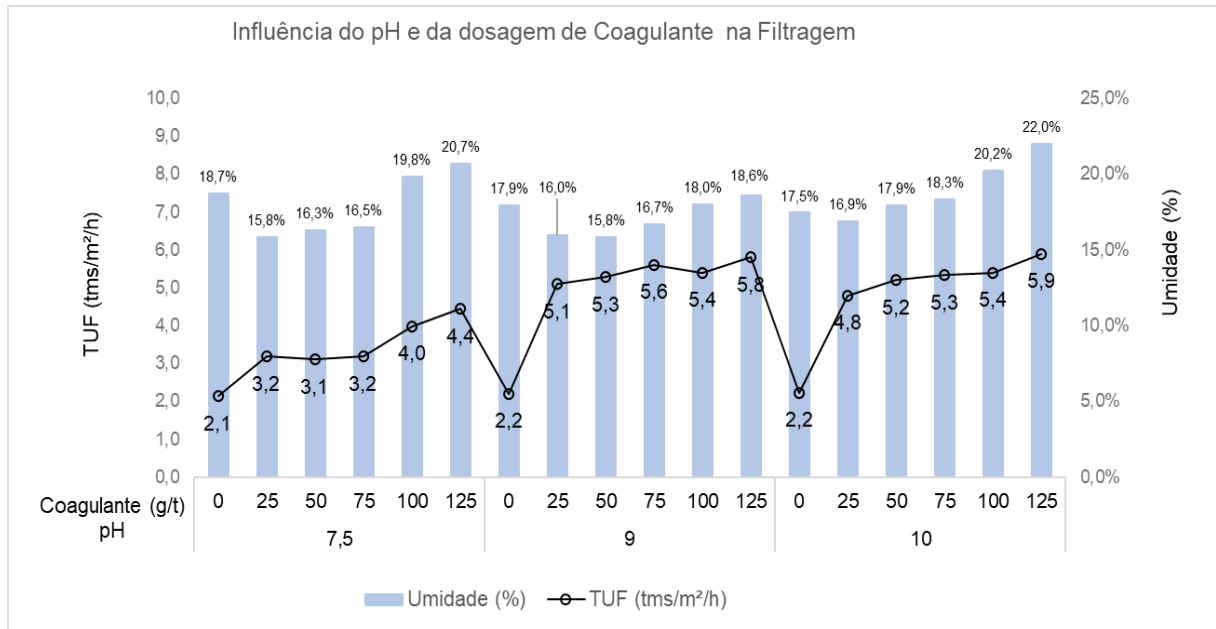


Figura 9: Influência do pH e da dosagem de coagulante na filtragem

Dosagem de reagente, alterando o pH da polpa de 7,5 até o pH de 10, houve aumento de produção elevando a umidade final devido aumento na “TUF”.

## 5. CONCLUSÕES

O melhor resultado nos testes de laboratório para reduzir a umidade na torta, foi com o produto Flodri DA 470, reduziu significativamente a umidade final da torta, mas seu uso na aplicação causou espuma e uma dispersão na polpa, havendo queda na produção e aumento no tempo de formação da torta.

Para aumento de produção o produto FL4540 demonstrou bons resultados na dosagem de 75g/t, chegando à dobra a produção. O uso do coagulante, para auxiliar de filtragem, para rejeito de minério de ferro, mostrou-se promissor, pelas condições da polpa, havendo uma perda de 2,8 pontos percentuais na umidade em relação ao teste em branco.

A adição de floculante Flonex FA 920 SHR/ Floerger reduziu significativamente o tempo de formação da torta, aumentando a produção em dosagem de 5g/t; houve aumento da umidade em relação ao teste em branco, somente nas dosagens superiores a 23g/t.

A elevação do pH da polpa de 7,5 para 9,0, e 10,0, com o auxílio do leite de cal vigem, não reduziu a umidade final da amostra em comparação com o teste em branco.



Testes preliminares de filtragem de rejeito + lama de minério de ferro realizados em escala industrial, demonstraram potencial tanto na aplicação do floculante FA 920 SHR em dosagem baixas, quanto a aplicação do coagulante FL 4540, chegando a um ganho de até 50% de produção sem aumento significativo da umidade na torta de rejeito de flotação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, R.W. et al. Floculantes y ayudas para drenado os filtrantes. In: ADAMS, R.W. et al. Manual de productos químicos para minería. **Edição revisada. Cyanamid**, 1986. Cap. 4, p. 132-144.

AMARANTE, S.C., ARAUJO, A.C., VALADÃO, G.E.S., PERES, E.C. Cake dewatering of some iron ore products industrial. **Minerals & Metallurgical Processing**, v.19, n.3, p. 161-164, April 2002.

DIAS, C. L. P.; VALADÃO, G. E. S.; AMARANTE, S. C.; ARAUJO, A. C. **Departamento de Engenharia de Minas**, UFMG. Rua Espírito Santo, 35, Belo Horizonte, MG, Brasil CEP 30160-030.

PEARSE, M.J., ALLEN A.P. The use of flocculants and surfactants in filtration of mineral slurries. **Filtration & Separation**. v. 20, p. 22-27, jan. 1983.

REZENDE NETO, M.C., FERREIRA, K.C., OLIVEIRA, M.S.M., VALADÃO, G.E.S. Obtenção de pastas minerais a partir do espessamento de lamas provenientes de processamento fosfático. **HOLOS**, v. 7, p. 148-155, 2015.

SILVERBLATT, C.E., DAHLSTROM, D.A. Moisture content of a fine-coal filter cake. **Industrial & Engineering Chemical Research**, v.6, n.6, p.1201-1207, 1954.

SNF FLOERGER. Relatório Interno. 2002.

STROH, G., STAHL, W. **The effect of surfactants on the filtration properties of fine particles. Filtration & Sepatation**. Alemanha: Fitratio Society, Sep. 1989. p. 197-199.

TURRER, H. D; MENDES JUNIOR, G.; MENDES, A.; DOELLINGEN, T. M.; ZUCHI, M. A.; PERES, A. E. C. Uso de Coagulante para Manutenção do Desempenho da Filtragem de Minério de Ferro. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo Vol, 7, Jul-Dec 2010, p.42-48.

VALADÃO, G.E.S, PERES, A.E.C. and SILVA, R.V.G. Development of empirical models for the filtration of pellet feed. In **Proc. XX International Mineral Processing Congress. Aachen**, 1997, pp. 83-90.