

SEDIMENTAÇÃO DE CONCENTRADOS DE MINÉRIOS DE FERRO COM DIFERENTES PERCENTUAIS DE PERDA POR CALCINAÇÃO

A.J.C. Rezende¹, A.E.C. Peres²

¹Samarco

Mina do Germano Caixa Postal 22, Mariana, MG, 35420-000. e-mail: alvaroj@samarco.com

²Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais
Avenida Antônio Carlos, 6627, Escola de Engenharia Bloco 2, Belo Horizonte, MG, 31270-901.
e-mail: aecperes@demet.ufmg.br

RESUMO

O aumento da participação de goethita nos minérios concentrados por flotação pela Samarco é preocupante por impactar tanto no processo atual quanto em futuras expansões.

A percentagem do mineral goethita é altamente correlacionável com a perda por calcinação (ppc) e, em função da facilidade na determinação do teor da perda por calcinação, esta característica é muito utilizada na operação do concentrador.

A etapa de espessamento exerce um papel fundamental no processo da Samarco, elevando a porcentagem de sólidos da polpa que será bombeada e recuperando água de boa qualidade para ser reutilizada no processo.

As variações da qualidade do minério têm grande influência sobre a sedimentação das partículas. Este estudo visou avaliar a influência da porcentagem de goethita na sedimentação do concentrado, clarificação do sobrenadante e compactação, bem como buscar alternativas para melhorar as características da sedimentação, utilizando como parâmetro de comparação a medida da perda por calcinação.

Para os ensaios laboratoriais de sedimentação foram produzidos em laboratório concentrados de flotação, a partir de amostras selecionadas na mina, tendo como alvo percentuais de ppc de 1,5%, 2,5% e 3,5%. Os concentrados atingiram percentuais de ppc próximos do alvo, 1,53%, 2,65% e 3,73%, respectivamente, teores de SiO₂ entre 1% e 2% e percentagem passante em 0,044 mm entre 87% e 89%. Ficou caracterizado que as amostras eram semelhantes, exceto no que tange ao percentual de ppc.

Existe uma tendência de queda na velocidade de sedimentação, especialmente para o concentrado com teor de ppc 3,73%, e de aumento gradativo da turbidez do sobrenadante a medida que o teor de ppc se eleva.

O floculante não iônico, que é utilizado atualmente no processo da Samarco, foi o reagente que apresentou o melhor desempenho na sedimentação dos concentrados.

PALAVRAS-CHAVE: sedimentação; perda por calcinação; goethita.

1. INTRODUÇÃO

A Samarco Mineração S.A. tem buscado conhecer mais profundamente as características dos minérios que irá lavar nos próximos anos. Diversos aspectos foram levantados, sendo o objeto deste estudo o aumento da participação de goethita no concentrado produzido. A percentagem do mineral goethita é altamente correlacionável com a perda por calcinação (ppc). Em função da facilidade na determinação da perda por calcinação esta característica é mais utilizada pela operação do concentrador do que a própria percentagem do mineral goethita.

No processo de espessamento, a polpa contendo o concentrado final produzido na usina de concentração da unidade de Germano, em Mariana, Minas Gerais, tem seu teor de sólidos elevado de cerca de 40% para 72%, possibilitando assim a recirculação de água e o bombeamento da quantidade demandada.

As características do minério que é lavrado têm grande influência sobre o comportamento das partículas durante a sedimentação. Algumas dessas características passaram a ser consideradas críticas pela equipe de operação da usina de concentração mesmo sem uma comprovação técnica ou científica (existem poucos estudos nesta área). A perda por calcinação (ppc) foi uma dessas características. Para o atendimento de diversas metas da empresa é importante o conhecimento da influência da perda por calcinação na sedimentação e também o desenvolvimento de alternativas para a minimização do seu impacto.

Os objetivos do trabalho são determinar a influência da perda por calcinação na velocidade de sedimentação, na porcentagem de sólidos e na turbidez do sobrenadante obtido em testes de sedimentação realizados em escala de laboratório, bem como propor flocculantes alternativos para as diferentes faixas de teor de perda por calcinação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O termo minério de ferro é utilizado para uma infinidade de materiais, não sendo possível associá-lo a um tipo específico. Do ponto de vista econômico pode-se dizer apenas que se refere a materiais que já foram, estão sendo ou poderão vir a ser lavrados comercialmente em função do seu conteúdo de ferro. Até hoje, são conhecidos, na natureza, treze óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos de ferro, sendo a goethita o principal oxihidróxido.

A goethita é um mineral do sistema ortorrômbico, classe bipiramidal, de densidade 4,37, podendo chegar a 3,3 para material impuro. Além da fórmula básica FeO.OH , pode conter quantidades variáveis de água adsorvida, bem como Al_2O_3 , CaO , BaO , SiO_2 . Sua composição básica tem 62,9% de Fe, 27% de O e 10,1% de H_2O . É a principal responsável pelo percentual de ppc do minério de Alegria (Feitosa *et al.*, 1993). Devido à hidratação, a cela unitária da goethita possui menos Fe que a da hematita (62,9% e 70,0%, respectivamente). Por isso, a presença de uma maior quantidade de goethita significará um concentrado mais pobre em conteúdo metálico, ao passo que a maior presença de especularitas implicará no contrário. A goethita é forte responsável no aprisionamento de fósforo e pelo aumento no consumo de reagentes como soda cáustica e flocculantes (Feitosa *et al.*, 1993).

Coagulação e floculação são estágios fundamentais em muitos processos de separação sólido-líquido, uma vez que muitas das partículas em suspensão são muito pequenas para sedimentarem sozinhas e de forma eficiente em um processo contínuo. A agregação dessas partículas em partículas maiores e que sedimentam mais facilmente é necessária para processos de separação por sedimentação, flotação ou filtração. Isto envolve a desestabilização das partículas, geralmente pela adição de sais metálicos e polímeros, seguida pela colisão das mesmas.

As energias de interação influentes na agregação e dispersão de minerais coloidais são originárias de forças: (i) de van der Waals; (ii) entre as duplas camadas elétricas (Lyklema, 1989).

As forças de van der Waals para duas partículas de mesma natureza, em água ou outro solvente, são sempre atrativas. Elas dependem da natureza da partícula, do solvente e da distância entre as partículas, mas

não dependem da carga das partículas, do valor do pH do meio e nem significativamente da concentração de eletrólito da solução (Lyklema, 1989).

O efeito resultante da interação entre as duplas camadas elétricas de partículas com cargas superficiais idênticas é a repulsão, e esta depende da distância entre as partículas, da magnitude da carga ou potencial de superfície e, em muitos casos, do valor do pH do solvente. As interações elétricas também são sensíveis à natureza e à concentração do eletrólito, mas, a uma dada carga superficial, independem da natureza da partícula (Lyklema, 1989).

A coagulação ocorre quando partículas extremamente finas aderem diretamente uma à outra. Todas as partículas exercem uma atração mútua devido às forças de London-van der Waals, sendo que essas forças são efetivas somente a distâncias muito pequenas. Normalmente, a adesão entre partículas pela ação dessas forças é evitada devido à presença de uma atmosfera carregada eletricamente ao redor de cada partícula, o que gera forças de repulsão quando as partículas se aproximam uma da outra. Há então um balanço entre as forças de atração e de repulsão elétrica na interface sólido – líquido.

A taxa de sedimentação e a turbidez são medidas indiretas que fornecem um caminho para a determinação da performance de um processo de floculação, e são governadas principalmente pela distribuição do tamanho dos flocos. A distribuição do tamanho dos flocos pode geralmente ser controlada pela seleção e uso apropriado de floculantes (Hogg, 2000). Para uma floculação bem sucedida, alguns parâmetros da suspensão como, por exemplo, o pH, a ionicidade, a temperatura, o tipo de floculante e suas características (peso molecular, densidade de carga e estrutura molecular) são importantes (Werneke, 1979; Atesok, 1988; Hogg, 2000; Yazar, 2001). Para que ocorra floculação apropriada o tipo de polímero e algumas características da suspensão precisam ser otimizados.

3. METODOLOGIA

Para realização dos testes foi necessária inicialmente a produção, em laboratório, de concentrados de minério de ferro dentro das especificações de teor de sílica e de granulometria da Samarco, com percentagens de perda por calcinação de 1,5%, 2,5% e 3,5%, aproximadamente. As demais características químicas do concentrado ficaram, quando possível, em faixas semelhantes (teor de sílica entre 1,0% e 2,0% e concentrado remóido para que a percentagem passante em 0,044mm ficasse entre 87,0% e 89,0%.

Os ensaios de sedimentação foram realizados em proveta de 1.000 mL, percentagem de sólidos na polpa de 40%, tempos de leitura da interface polpa/minério de 15s, 30s, 45s, 1min, 2min, 3min, 4min, 5min, 6min, 8min, 10min, 15min, 20min e 30min.

A água utilizada na composição da polpa foi a mesma para todos os testes e foi proveniente do concentrado de minério de ferro da Samarco, coletado anteriormente à adição de reagentes de espessamento. Este concentrado foi filtrado e a água armazenada.

Os ensaios de sedimentação foram realizados em duas etapas. A primeira bateria de ensaios foi realizada com a polpa “tal e qual” alimenta o espessador com variação nas percentagens de ppc (goethita). A segunda etapa teve como objetivo estudar alternativas para melhorar as características da sedimentação e do sedimentado em cada uma das faixas de ppc com adição de coagulante/floculante.

Os testes de sedimentação foram conduzidos com as três amostras geradas: 1,53%, 2,65% e 3,73% de ppc. Todos os testes foram realizados em triplicata buscando aumentar a confiabilidade dos resultados e as dosagens de floculante e de coagulante foram fixas (5 e 10 g/t, respectivamente).

Os reagentes que foram utilizados nos testes de sedimentação foram os mesmos utilizados atualmente na usina de concentração da Samarco, que são: (i) coagulante – Flonex 7045® (poliamina quaternária fornecido atualmente pela Floerger); (ii) floculante – Flonex 9031® (poliacrilamida não iônica de alto peso molecular também fornecida pela Floerger).

A velocidade de sedimentação, a percentagem de sólidos no sedimentado e a turbidez do sobrenadante foram medidas em cada um dos testes.

Foram feitos testes em triplicata para identificar o floculante de melhor comportamento em cada uma das faixas de ppc. Estes testes foram conduzidos conforme já mencionado anteriormente sendo que os tempos de leitura da interface polpa/minério foram 15s, 30s, 45s, 1min, 2min, 3min, 4min e 5min.

Nestes testes o coagulante utilizado foi fixo e os floculantes variaram em função de tipo de carga, intensidade da carga e peso molecular. As dosagens de floculante e coagulante foram fixadas em 5g/t e 10g/t de concentrado, respectivamente. Estas dosagens foram baseadas nas dosagens máximas utilizadas atualmente na Samarco de forma a tentar garantir uma ação eficaz do reagente. Medidas de velocidade de sedimentação e turbidez do sobrenadante foram realizadas para comparar os reagentes. A percentagem de sólidos no sedimentado não foi considerada nesta fase do estudo, pois o número de testes foi muito grande e o tempo necessário para esta medição seria de no mínimo 30 minutos, o que inviabilizaria testar em triplicata o número de reagentes estudados.

Os reagentes utilizados nesta etapa foram: (i) coagulante – Flonex 7045 ® (poliamina quaternária, fornecido pela Floerger); (ii) coagulantes: (a) Flonex 9001 ® (poliacrilamida aniônica de alto peso molecular e média intensidade de carga, fornecido pela Floerger); (b) Flonex 9031 ® (poliacrilamida não iônica de alto peso molecular, fornecido pela Floerger); (c) Magnafloc 10 ® (poliacrilamida aniônica de alto peso molecular e intensidade de carga fraca, fornecido pela CIBA, hoje BASF); (d) Magnafloc 139 ® (poliacrilamida aniônica de baixo peso molecular e intensidade de carga fraca, fornecido pela, na época, CIBA, hoje BASF); (e) Magnafloc 333 ® (poliacrilamida não iônica de alto peso molecular e sem carga, fornecido pela, na época, CIBA, hoje BASF); (f) Magnafloc 919 ®

(poliacrilamida aniônica de altíssimo peso molecular e forte intensidade de carga, fornecido pela, na época, CIBA, hoje BASF); (g) Magnafloc 1011 ® (poliacrilamida aniônica de alto peso molecular e média intensidade de carga, fornecido pela CIBA); (h) Zetag 7652 ® (poliacrilamida catiônica de altíssimo peso molecular e média intensidade de carga, fornecido pela, na época, CIBA, hoje BASF).

4. RESULTADOS

As análises dos concentrados produzidos mostraram que, apesar do teor de sílica no concentrado e da granulometria serem semelhantes nas três amostras estudadas, houve queda do teor de Fe, queda da densidade de sólido e aumento da área superficial específica com a elevação do teor de pcc. A queda do teor de Fe já era esperada devido à elevação da porcentagem de goethita no concentrado. Conforme citado na revisão, a goethita é um mineral hidratado com menor teor de Fe por cela unitária que a hematita e isto leva à queda do conteúdo metálico do concentrado (Feitosa *et al.*, 1993).

As figuras 1 e 2 evidenciam a queda da densidade de sólido e a elevação da área superficial específica com o aumento do percentual de ppc.

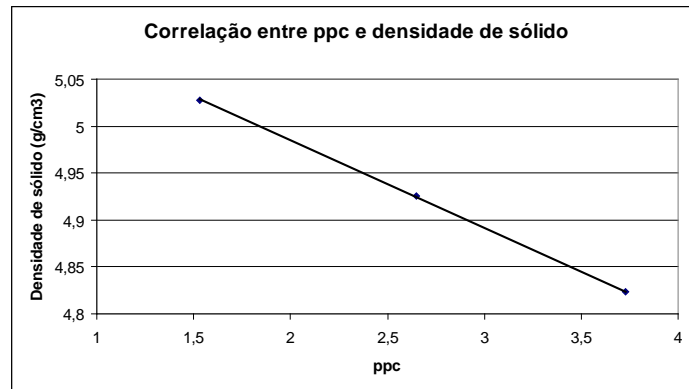


Figura 1 - Gráfico da correlação entre ppc e densidade de sólido nas amostras de concentrado de minério de ferro estudadas.

A análise mineralógica mostrou queda da hematita especular e aumento da goethita com aumento do teor de ppc. A tabela I mostra a análise mineralógica completa das três amostras de concentrado produzidas.

A tabela II mostra a média dos resultados das análises de velocidade de sedimentação, porcentagem de sólidos no sedimentado e turbidez do sobrenadante, realizadas em triplicada para as três amostras estudadas. Os resultados dos testes de sedimentação apresentaram variações insignificantes nas análises em triplicata. A esperada tendência de redução na velocidade de sedimentação com aumento do teor de ppc foi confirmada. A porcentagem de sólidos no sedimentado foi pouco afetada pelo teor de ppc. Os resultados da turbidez apresentaram uma pequena variação entre as leituras das análises das amostras em triplicata. Este fato pode ser explicado pela necessidade de

diluição da amostra para realização dos testes no turbidímetro que foi utilizado, uma vez que este apresenta maior precisão para valores de turbidez até 1.000 NTU. De qualquer forma a tendência apresentada entre as leituras se mostrou muito coerente.

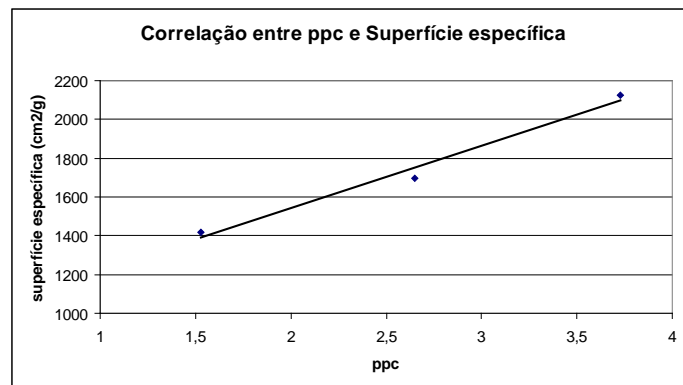


Figura 2 - Gráfico da correlação entre ppc e superfície específica.

Tabela I – Análise mineralógica do concentrado remoído com 1,53%, 2,65% e 3,73% de PPC

Mineralogia total - % volume e peso												
ppc	hematita esp.		hematita por.		goethita		Martita		quartzo livre		quartzo misto	
	vol.	peso	vol.	peso	vol.	peso	vol.	Peso	vol.	peso	vol.	Peso
1,53	50,8	52,0	35,7	36,5	11,7	10,0	1,0	1,0	0,6	0,3	0,1	0,1
2,65	36,0	37,2	43,6	44,9	17,0	14,5	3,2	3,2	0,2	0,1	0,0	0,0
3,73	18,4	19,5	43,1	45,5	29,0	25,5	8,6	9,0	0,8	0,4	0,0	0,0

Tabela II – Velocidade de sedimentação, porcentagem de sólidos no concentrado e clarificação do sobrenadante em função do teor de ppc

PPC (%)	velocidade de sedimentação (cm/min)	sólidos no sedimentado (% p/p)	clarificação do sobrenadante (NTU)
1,53	7,59	77,59	21.691
2,65	7,23	77,76	71.024
3,73	5,42	76,54	100.035

Como todos os testes foram realizados com a mesma água, coletada da alimentação dos espessadores de concentrado antes da adição de reagentes um dia antes da realização dos testes de sedimentação, houve uma pequena queda no pH, fato que pode ter influenciado na clarificação do sobrenadante. Testes posteriores, onde o pH da água foi ajustado com cal para 10,5, mostraram que em qualquer faixa de ppc é possível clarificar o sobrenadante.

A tabela III apresenta os resultados de velocidade de sedimentação e clarificação do sobrenadante para todos os reagentes testados com concentrados nos três níveis de ppc.

Os resultados para teor de ppc 1,53% mostraram um melhor desempenho para velocidade de sedimentação de dois reagentes aniônicos, o Magnafloc 10 ® e o Flonex 9001 ®, sendo que a menor turbidez do sobrenadante obtida nos testes com a amostra de ppc de 1,53% foi com o reagente Magnafloc 10 ®. O reagente não iônico que é atualmente utilizado no processo da Samarco, o Flonex 9031 ®, apresentou turbidez do sobrenadante e velocidade de sedimentação intermediária. O reagente Magnafloc 333 ®, também um composto não iônico, apresentou resultado similar. Os reagentes Magnafloc 139 ®, Magnafloc 919 ® e Magnafloc 1011 ®, que são poliacrilamidas aniônicas com diferentes pesos moleculares e intensidade de carga aniônica, apresentaram baixa velocidade de sedimentação. O reagente Zetag 7652 ®, que é composto por uma poliacrilamida catiônica, teve baixa velocidade de sedimentação apesar de ter apresentado baixa turbidez do sobrenadante.

Tabela III – Resumo dos resultados de turbidez e velocidade de sedimentação em função do teor de ppc

Reagente	ppc 1,53%		ppc 2,65%		ppc 3,73%	
	Turbidez (NTU)	Vel. sedim. (cm/min)	Turbidez (NTU)	Vel. sedim. (cm/min)	Turbidez (NTU)	Vel. sedim. (cm/min)
Flonex9001	462,7	7,8	2515,0	6,9	368,0	4,9
Flonex9031	201,0	6,6	112,4	8,1	73,2	6,7
Magnafloc10	184,7	7,9	1778,0	6,9	270,7	4,7
Magnafloc139	965,7	5,3	3846,5	3,7	492,7	2,2
Magnafloc333	226,0	6,6	3555,8	3,3	293,0	2,5
Mgnafloc919	605,3	5,2	6321,0	4,9	7581,5	3,3
Magnafloc1011	371,3	5,8	3903,7	6,0	520,7	4,2
Zetag 7652	188,0	5,3	8395,3	3,6	165,0	2,9

Na maioria das situações a velocidade de sedimentação obedeceu a sequência lógica de redução com aumento do teor de ppc mas, exceto para o Flonex9031, os valores de turbidez foram extremamente elevados, sem que fosse encontrada explicação lógica para o fato.

Para teor de ppc 2,65% o reagente não iônico Flonex 9031 ® apresentou o melhor resultado tanto para turbidez do sobrenadante quanto para velocidade de sedimentação. O reagente Magnafloc 333 ®, que também é um composto não iônico, apresentou resultados inferiores tanto para velocidade de sedimentação quanto para turbidez do sobrenadante. Os compostos aniônicos, Magnafloc 10 ® e Flonex 9001 ®, apresentaram resultados intermediários para turbidez do sobrenadante e para velocidade de sedimentação. Os reagentes Magnafloc 139 ®, Magnafloc 919 ® e Magnafloc 1011 ®, que são poliacrilamidas aniônicas com diferentes pesos moleculares e diferentes intensidades de carga, apresentaram alta turbidez do sobrenadante e baixa velocidade de sedimentação. O composto catiônico Zetag 7652 ® apresentou baixa velocidade de sedimentação e alta turbidez do sobrenadante.

O reagente não iônico Flonex 9031 ® também apresentou o melhor resultado para a amostra com ppc de 3,73%, tanto para turbidez do sobrenadante quanto para velocidade de sedimentação. Os

compostos aniônicos, Magnafloc 10 ® e Flonex 9001 ®, apresentaram resultados intermediários para turbidez do sobrenadante e para velocidade de sedimentação. Os reagentes Magnafloc 139 ®, Magnafloc 919 ® e Magnafloc 1011 ®, que são poliacrilamidas aniônicas com diferentes pesos moleculares e intensidade de carga aniônica, apresentaram alta turbidez do sobrenadante e baixa velocidade de sedimentação. O composto catiônico Zetag 7652 ® apresentou baixa turbidez do sobrenadante, mas a velocidade de sedimentação foi muito baixa assim como na amostra com teor de ppc de 1,53%.

5. CONCLUSÕES

A queda da velocidade de sedimentação do concentrado está correlacionada com a elevação do teor de ppc. Para a turbidez ocorreu significativa elevação, sem explicação lógica, para ppc 2,65%,

Os estudos confirmaram que a elevação do teor de ppc no concentrado de minério de ferro da Samarco está correlacionada com o aumento da percentagem do mineral goethita. Como a densidade da goethita é inferior à densidade da hematita, os concentrados com maior teor de ppc possuem menor densidade de sólido (em uma mesma percentagem de sílica).

A elevação da área superficial específica também ocorreu com o aumento do teor de ppc, o que pode ter aumentado a carga superficial da partícula e conseqüentemente dificultado a sedimentação do concentrado e a clarificação do sobrenadante.

O reagente não iônico, que é utilizado atualmente no processo da Samarco, foi o que apresentou o melhor desempenho em termos de redução de turbidez, especialmente para maiores teores de ppc.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atesok, G. Adsorption of polymers. Bulletin Technical University Istanbul, 41, p. 13 – 32, 1988.

Feitosa, V.M.N., Silva, J.P., Rabelo, P.J.B., Coelho, L.H. Estudos de caracterização mineralógica e suas implicações no processo na mina de Alegria. Anais do 7º Simpósio de Geologia de Minas Gerais Workshop geologia estrutural dos minérios de ferro, p. 369-373, Belo Horizonte, Brasil, 1993.

Hogg, R. Flocculation and dewatering. International Journal of Mineral Processing, 58, p. 223-236, 2000.

Lyklema, J. The colloidal background of flocculation and dewatering. In: B. Moudgil & J. Scheiner (editors) Flocculation and Dewatering. Engineering Foundation, New York, p. 1-20, 1989.

Werneke, M.F. Application of synthetic polymers in coal preparation. Soc. Min. Eng. AIME, 79: 106, p. 1 - 11 (Reprint number), 1979.

Yarar, B., Evaluation of flocculation and filtration procedures applied to WSRD Sludge. Report no: WSRC-TR-2001-00213. Colorado School of Mines, p. 1-34, 2001.