



AVALIAÇÕES DE ALTERNATIVAS PARA OTIMIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DO MINÉRIO DE FERRO

BRAGA, F.Y.A.¹, MONTENEGRO, L.C.M.², RUSSO, J.F.C.³, TURRER, H.D.G.⁴, NASCIMENTO, C.M.⁵, PEREIRA, J.S.⁶

¹Anglo American, Gerência Desenvolvimento de Processos, Conceição do Mato Dentro-MG.
frederic.braga@angloamerican.com

²Universidade de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Engenharia de Minas.

³Anglo American, Gerência Desenvolvimento de Processos, Conceição do Mato Dentro-MG.

⁴Anglo American, Gerência Desenvolvimento de Processos, Conceição do Mato Dentro-MG.

⁵Anglo American, Gerência Desenvolvimento de Processos, Conceição do Mato Dentro-MG.

⁶Anglo American, Gerência Desenvolvimento de Processos, Conceição do Mato Dentro-MG.

RESUMO

Diante do atual cenário vivido pela mineração brasileira, o estudo e desenvolvimento de tecnologias que possibilitem uma disposição de rejeitos de forma mais segura e controlada ganhou relevância significativa. Entre as diversas alternativas e metodologias de disposição, a Anglo American vem desenvolvendo testes em três frentes de estudos: polímeros desaguadores de polpa, desaguamento por hidrociclones e filtragem de polpa. Os dois primeiros estudos têm como finalidade a otimização da forma de ocupação do reservatório. Já a filtragem tem o intuito de reduzir o envio da massa para o reservatório, mas todas elas têm como finalidade o prolongamento da vida útil da barragem existente ou até mesmo eliminar a necessidade de novos alteamentos ou estruturas. Os estudos foram divididos em fases laboratoriais, piloto e industrial, visando uma comprovação de aplicabilidade e escalonamento para uma futura instalação definitiva. Até o presente momento todos os testes demonstraram ganhos e potenciais de aplicabilidade, sendo necessário uma evolução e maior detalhamento dos estudos.

PALAVRAS-CHAVE: Disposição de rejeitos; Polímeros desaguadores; Hidrociclones; Filtragem.

ABSTRACT

Given the current scenario experienced by Brazilian mining industry, the study and development of technologies that enable a more secure and controlled disposal of tailings has gained significant relevance. Among the various alternatives and disposal methodologies, Anglo American has been developing tests on three study fronts: dewatering polymers, hydrocyclone dewatering and pulp filtration. The first two fronts are intended to optimize the way of occupying the reservoir. The filtering aims to reduce the mass flow to the reservoir, but all of them have the purpose of extending the life of the existing dam or even eliminating the need for new raises or structures. The studies were divided into laboratory, pilot and industrial phases, aiming at proving applicability and scheduling for a definitive future installation. Until this moment, all tests have demonstrated gains and potentials of applicability, requiring an evolution and greater detail of the studies.

KEYWORDS: Tailings disposal; Dewatering polymers; Hydrocyclones; Filtering.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de muitos anos as barragens vem sendo a metodologia de disposição de rejeito mais utilizada pelas mineradoras ao redor de todo globo. As técnicas de disposição, alteamento e controle variam das mais diversas formas, levando em consideração os aspectos legais e ambientais de cada local, relevo, tipo de rejeito e demais particularidades.

Os eventos ocorridos com as barragens de Fundão e Brumadinho nos últimos anos colocaram em cheque a aplicabilidade das barragens como método de contenção de rejeitos, fazendo com que as empresas iniciassem uma série de estudos de técnicas alternativas de disposição, sejam elas com o intuito de otimizar a ocupação das barragens existentes ou visando a redução do envio de massa para o reservatório.

Entre as técnicas citadas podemos destacar o uso de polímeros flocculantes desaguadores, o desaguamento por hidrociclones e a filtragem de polpa. Tais técnicas já vem sido amplamente utilizadas pelas empresas no processo de beneficiamento de minério ao longo de décadas, e agora vem tendo seu uso direcionado para o tratamento e manuseio dos rejeitos. A Anglo American vem desenvolvendo estudos dessas três tecnologias em fases de laboratório, piloto e industrial com o intuito de determinar a melhor maneira de tratar os rejeitos gerados no processo de beneficiamento de minério de ferro da mina da Serra do Sapo em Conceição do Mato Dentro-MG, também conhecido como Minas-Rio.

Os polímeros flocculantes, geralmente aplicado nos espessadores, são amplamente utilizados com a finalidade de aumentar a eficiência da separação sólido-líquido através de aumento da velocidade de sedimentação. Porém, nos últimos anos, diversos estudos de caso sobre a aplicação de polímeros de alto peso molecular, que provocam uma rápida sedimentação e liberação de água, foram publicados destacando o potencial uso no desaguamento de polpa diretamente nos reservatórios. Guang et al. (2014) realizou testes com diversos polímeros e diversas finalidades de aplicação na Austrália e Kaiser et al. (2006) reportou o uso de polímeros na modificação de reologia de polpas residuais.

Em relação aos hidrociclones, atualmente existem diversas barragens alteadas com o próprio rejeito gerado pela usina de beneficiamento, ao fim do processo o material passa por uma etapa de ciclonagem, onde a fração mais grossa do hidrociclone, *underflow*, é empregada na construção do maciço da barragem, enquanto a fração mais fina, *overflow*, é lançada no reservatório resultante do barramento (Lindolfo, 2010). A ciclonagem pode ser empregada também para otimizar a ocupação do reservatório através do ganho de ângulo de deposição do material ciclonado.

Por fim, a filtragem, assim como os hidrociclones, possui aplicabilidade das mais diversas formas no setor mineral. Suas diferentes tecnologias permitem o tratamento de diversos tipos de materiais e geralmente a escolha do filtro a ser utilizado passa por premissas de processo e geotecnia como umidade residual, produtividade e relação técnico-econômica. Ribeiro (2016) e Guimarães (2011) salientaram que os rejeitos provenientes do beneficiamento do minério de ferro apresentam características físicas, químicas e mineralógicas que impactam no desempenho das etapas de filtragem, gerando a necessidade de estudos detalhados para

seleção da melhor alternativa de processo de acordo com as particularidades de cada empreendimento.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver estudos e avaliações das tecnologias citadas, de forma a proporcionar o melhor entendimento dos aspectos técnicos, operacionais e econômicos de cada cenário, visando a implementação de soluções que atendam as expectativas da empresa no âmbito social, ambiental e produtivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As frentes de estudo desenvolvidas pela Anglo American foram divididas em etapas de testes laboratoriais, piloto e, por fim, em escala industrial. O primeiro desenvolvimento foi na linha dos polímeros desaguadores, que até o presente momento está no fim da fase piloto. Já a ciclonação e filtração encontram-se em fase laboratorial, mas com resultados promissores de acordo com as expectativas da empresa para avaliação de potenciais aplicações no manuseio e tratamento dos rejeitos provenientes do beneficiamento de minério de ferro.

Primeiramente faz-se necessário compreender os tipos de rejeitos gerados e suas principais características. Para isso, fez-se uma campanha amostral dos fluxos e uma caracterização para determinação de variáveis como % de sólidos, granulometria e composição química dos fluxos. De posse desses dados, houve uma avaliação de potencial de aplicação das soluções anteriormente descritas de acordo com as particularidades do fluxograma de processo e limitações de aplicabilidade.

A usina do Minas-Rio possui três tipos de rejeitos oriundos do beneficiamento. São eles:

- Rejeito da flotação – Material de granulometria mais grosseira e que representa aproximadamente 90% do rejeito total gerado;
- Lamas – Material de granulometria ultrafina e que representa aproximadamente 10% do rejeito total gerado;
- Underflow do espessador de rejeitos – Composição do rejeito da flotação e das lamas. O espessador recebe todo fluxo de rejeito, promove uma recuperação de parte da água para o processo e bombeia o material adensado para a barragem de rejeito.

De posse dos dados de processo pôde-se determinar quais estudos seriam direcionados de acordo com os fluxos caracterizados.

2.1 Polímeros Desaguadores

Os testes com os polímeros desaguadores tiveram início em 2017 e foram estendidos até o início de 2019. Nesse período, foram realizadas uma série de ensaios visando a obtenção de algumas variáveis de processo. O principal ponto para o uso do polímero foi a possibilidade de rápida liberação de água promovida pelo produto e possível aumento do ângulo de deposição do material sedimentado na barragem.

A metodologia adotada para avaliações de processo foi a execução de *slump test* com o intuito de calcular o *Yield Stress* do produto floculado e a medição do volume de água liberada após o teste. Para tal, foi utilizado um cilindro acrílico de 75 mm de altura sob uma peneira de 850 microns de abertura.

No total foram realizados mais de 200 *slump test* que varreram desde avaliações exploratórias até estudos mais detalhados. Já nos primeiros testes exploratórios foi possível obter as seguintes conclusões:

- A amostra de rejeito da flotação, devido as suas características, não obteve ganhos com a dosagem do produto;
- A amostra de lama, devido a sua elevada diluição e característica granulométrica, obteve resultados expressivos a partir de dosagens extremamente elevadas.

Diante disso, e devido as limitações operacionais de dosagem do produto nos fluxos citados acima, optou-se por direcionar o trabalho com o foco na amostra proveniente do *underflow* do espessador de rejeitos, composta por 90% de rejeito da flotação e 10% de lamas.

Inicialmente houve a pré-seleção de potenciais produtos para aplicação. Num primeiro momento foram selecionados quatro diferentes polímeros, que após a execução de ensaios exploratórios, resultaram na seleção de dois produtos para testes mais detalhados. Os testes foram realizados com o apoio do fornecedor do polímero e as variáveis analisadas foram o ângulo de empilhamento, que foi calculado baseado nos dados obtidos no *slump test*, e a água liberada 10 minutos após a execução do ensaio.

Por fim, uma última bateria de ensaios foi realizada executando a medição do *Yield Stress* com o uso de um Reômetro tipo cilindros concêntricos, Brookfield, Modelo RST. Foram realizadas leituras de *Yield Stress* para diferentes taxas de cisalhamento num intervalo pré-determinado e os resultados foram os seguintes:

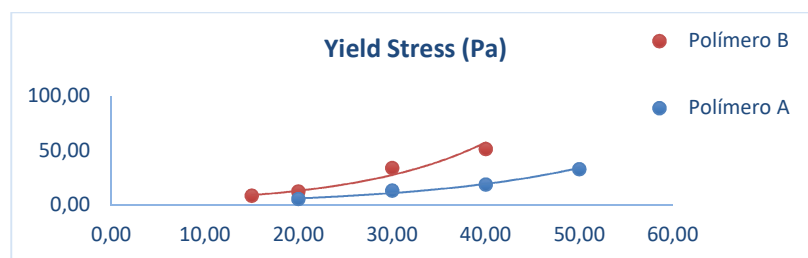


Figura 1. Comparativo *Yield Stress* (Pa).

De posse dos resultados, optou-se por seguir adiante com os estudos utilizando o Polímero B. Com isso, uma série de novos ensaios foi realizada para determinação de variáveis de processo como diluição e dosagem ideal. A figura abaixo ilustra uma das verificações realizadas para estimativa de dosagem.

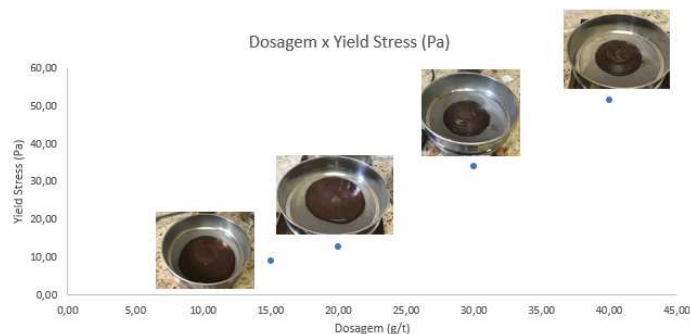


Figura 2. Testes para determinação da dosagem ideal.

Após uma longa fase laboratorial, foram iniciadas as tratativas para execução de um teste piloto/industrial para verificação da aplicabilidade do produto diretamente na barragem, visando uma maior liberação de água e aumento do volume e ângulo de material depositado próximo ao local de lançamento do rejeito. Os testes estão sendo realizados pela equipe da Anglo American e os resultados estão sendo acompanhados pelas equipes de geotecnia e processo da empresa. Após uma análise criteriosa e detalhada dos resultados será tomada a decisão dos próximos passos do estudo.

2.2 Desaguamento via hidrociclones

Em meados de 2017 deu-se início aos trabalhos de avaliação dos ganhos de ocupação da barragem da Anglo American a partir da hidrociclonagem do rejeito, ou parte dele. O intuito inicial do estudo foi avaliar e simular baterias de hidrociclones que propiciassem o desaguamento do rejeito final, aumentando a recuperação de água de processo e promovendo um aumento de ângulo de disposição do material ciclonado.

Atualmente o rejeito é lançado na barragem com uma concentração de sólidos em torno de 55% a 60%. Avaliando casos de desaguamento de rejeitos temos que com a ciclonagem esse valor pode ser incrementado para patamares em torno de 70%. Sendo assim, fez-se uma amostragem no circuito de forma a obter dados de % de sólidos, densidade de sólido e granulometria dos fluxos direcionados a barragem. Tais dados foram utilizados para execução de simulações de processo em dois cenários distintos. São eles:

- Cenário 1 – Simulação da ciclonagem de todo fluxo proveniente do underflow do espessador de rejeitos, cuja composição possui 90% de rejeito da flotação e 10% de lamas;
- Cenário 2 – Simulação da ciclonagem apenas do rejeito da flotação.

De posse dos resultados das simulações e visando uma comprovação prática, a equipe de Desenvolvimento de Processos da Anglo American, instalou um kit piloto de ciclonagem composto por um tanque, uma bomba centrífuga de polpa e um hidrociclone de 2'' na área industrial. Paralelamente a isso foram feitas adaptações na tubulação de recalque do *underflow* do espessador possibilitando o direcionamento de parte do fluxo para o kit de teste.

Os testes foram realizados para obtenção de resultados visuais e estimativas topográficas, visto que o hidrociclone piloto possuía um diâmetro muito abaixo do requerido pelas simulações. Sendo assim, as variáveis de processo não foram avaliadas de forma criteriosa no teste em questão. O ensaio consistiu basicamente em realizar a disposição do material antes e depois da ciclonagem. Para obtenção de dados pertinentes de análise, foram realizadas medições topográficas de ângulo de acomodação do material antes e depois da ciclonagem, e os resultados indicaram um aumento de até 3 vezes do ângulo do material ciclonado. A figura abaixo ilustra a mudança de comportamento do material pós etapa de ciclonagem.



Figura 3. Material antes e depois de ciclonado.

A próxima fase do trabalho contempla a instalação de um conjunto caixa-bomba e uma plataforma com um hidrociclone industrial de dimensões conforme as indicadas pelas simulações. Serão criadas alternativas de alimentação do sistema com diferentes proporções entre rejeito da flotação e lamas. O material ciclonado será utilizado na confecção de aterros de teste para avaliações geotécnicas.

2.3 Filtragem

A Anglo American tem realizado uma série de ensaios com diferentes tecnologias de filtragem, em escala laboratorial, visando determinar as possíveis alternativas para os diferentes rejeitos gerados no processo de beneficiamento. Até o presente momento foram avaliadas cinco diferentes alternativas de filtragem: Filtro a vácuo convencional, filtro cerâmico, filtro de esteira, filtro prensa e filtro hiperbárico. Os testes se encontram em fase de execução e desenvolvimento, mas até o presente momento já foram obtidos alguns resultados preliminares que possibilitam uma avaliação prévia de processo para um melhor direcionamento de estudos futuros.

2.3.1 Rejeito da flotação

O material proveniente da flotação tem se mostrado o fluxo com a menor dificuldade de processo para a filtragem. Devido as suas características granulométricas, o material apresentou resultados satisfatórios nas tecnologias de filtragem a vácuo em termos de formação de torta, umidade residual e produtividade dos filtros.

Os testes realizados até o presente momento contemplaram diferentes concentrações de sólidos, pH de polpa e adição de reagentes coagulantes e floculantes, tais variáveis mostraram significativo impacto no desempenho da filtragem. A figura abaixo ilustra o resultado obtido no fluxo com material adensado.

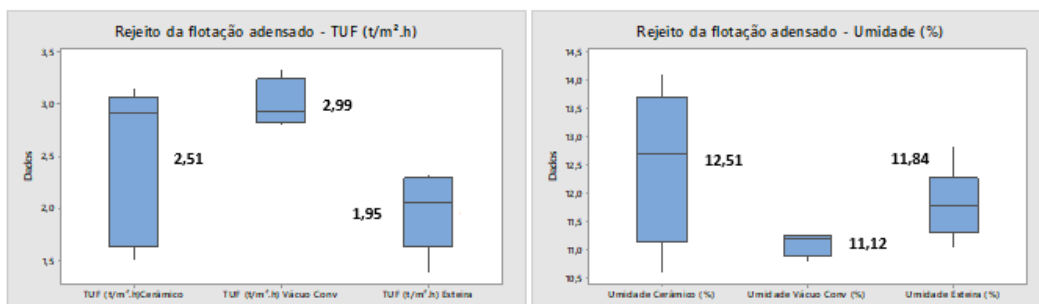


Figura 4. Resultados de TUF (t/m².h) e umidade (%) para os testes de filtragem com rejeito da flotação adensado.

Cabe salientar que para os resultados expostos houve diferença entre variáveis operacionais como espessura de torta e tempo de ciclo, mas de forma geral, nota-se que o adensamento da polpa, previamente a filtragem, possui um impacto significativo na eficiência do processo.

2.3.3 Underflow do espessador

O material proveniente do *underflow* do espessador de rejeitos, composto por 90% de rejeito da flotação e 10% de lamas, foi o fluxo mais estudado até o presente momento. Por questões operacionais e de processo o entendimento das possibilidades e limitações da filtragem desse fluxo será de fundamental importância na determinação das melhores alternativas e necessidades para obtenção de instalações permanentes que possuam a melhor relação técnico-econômica.

Diante disso, estudos foram desenvolvidos contemplando a avaliação de variáveis como % de sólidos da polpa, pH e % de lama presente no fluxo em confronto com indicadores de desempenho da filtragem como produtividade e umidade residual da torta. Até o momento pôde-se inferir que as tecnologias de filtro prensa e hiperbárico apresentaram os melhores resultados em termos de umidade residual e produtividade. A figura abaixo ilustra alguns resultados obtidos com o fluxo adensado.

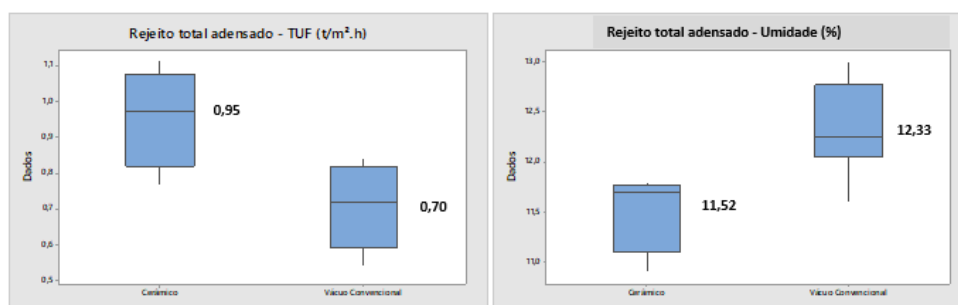


Figura 5. Resultados de TUF (t/m².h) e umidade (%) para os testes de filtragem com rejeito total adensado.

Nota-se que o adensamento da polpa melhorou a eficiência de trabalho dos filtros cerâmicos e a vácuo convencional, mas ainda assim os valores ficaram abaixo do esperado devido a elevada presença de lamas no fluxo. Diante disso, optou-se por compor uma amostra com 95% de rejeito da flotação e 5% de lama para verificação do impacto disso na eficiência da filtragem. Os resultados obtidos indicaram que com a redução do % de lama, o desempenho da filtragem a vácuo de forma geral melhora significativamente.

2.3.2 Lamas

As lamas são tidas como o maior desafio de processo em termos de filtragem e disposição devido as suas características granulométricas, o que limita a diversidade de alternativas para seu tratamento. Guimarães (2011) e Ribeiro (2016) em seus estudos salientaram a dificuldade de filtração desse material por tecnologias a vácuo e a provável necessidade de aplicação de tecnologias a pressão, como filtro prensa ou hiperbárico. Por fim, observa-se que as alternativas de adensamento previamente a filtragem deve ser melhor explorada visando a remoção do maior volume de água possível e consequente redução de custos.

3. CONCLUSÕES

Diante dos estudos desenvolvidos até o presente momento pode-se concluir que todas as alternativas avaliadas possuem potencial de aplicabilidade para o tratamento e manuseio dos rejeitos gerados no beneficiamento do minério de ferro da Anglo American, seja no intuito de otimizar a ocupação do reservatório existente ou na redução do envio de material em forma de polpa para a barragem. Para as três frentes estudadas, nota-se que os polímeros podem proporcionar um aumento da velocidade de sedimentação e/ou aumento do ângulo de deposição do material, os hidrociclones promovem o desaguamento da polpa antes do envio à barragem, gerando um produto adensado e que tenha um maior ângulo de deposição no maciço e, por fim, a filtragem tem se mostrado uma boa alternativa para redução do material depositado em forma de polpa, promovendo a remoção quase que completa da água e possibilitando a deposição do material em pilhas com baixa umidade residual e maior segurança geotécnica. Ainda para a filtragem, deve-se avaliar de forma mais detalhada e criteriosa as tecnologias passíveis de aplicação de acordo com cada tipo de rejeito, assim como as alternativas de adensamento prévio e empilhamento do produto filtrado visando soluções de processo eficientes do ponto de vista técnico-econômico. Para comprovação e detalhamento dos estudos, testes em escala industrial devem ser realizados visando a comprovação do que foi observado nas fases laboratoriais e piloto.

4. REFERÊNCIAS

KAISER, L. K. *et al.* A New Approach to Bauxite Residue Dry Stacking: Utilizing Ciba® RHEOMAX ETD Technology. **Paste Conference 2006**, [S. l.], 2006.

SOARES, Lindolfo. Barragem de Rejeitos. *In*: DA LUZ, Adão Benvindo; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina. **Tratamento de minérios 5ª Edição**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

GUIMARÃES, Nilton Caixeta. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. 2011. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

NETO, Gil Ribeiro Vilela. **Maximização do desaguamento dos rejeitos minerais gerados pela concentração do minério de ferro**. 2016. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

GUANG, Raymond; LONGO, Sue. Application of in-line polymer addition for tailings disposal - learning and challenges part II. **Paste Conference 2017**, [S. l.], 2017.