

Metakflex - o cimento de argilas: Novo produto e nova receita para a eliminação de barragens de estéreis na mineração⁽¹⁾

Metakflex - cement of clays: new product and new revenue plus the elimination of tailings dams in mining

Evandro Moraes da Gama¹,
Ricardo Álvares de Campos Cordeiro²,
Tamiris Seerig³

RESUMO

Com a natural exaustão das jazidas com altos teores, os recursos minerais apresentam-se mais pobres em elementos aproveitáveis e, em consequência, os percentuais de estéreis são crescentes. O sistema de barragem de estéreis, o método de disposição mais usado nas minerações do Brasil e de todo o mundo, sempre foi questionado pelos impactos ambientais e ocupação de grandes superfícies. Passou a ser, também, muito combatido devido aos potenciais riscos à vida humana, após os recentes rompimentos de unidades no estado de Minas Gerais, Brasil. Até a própria existência da atividade de mineração tem sido debatida mesmo sendo essencial à vida humana. Portanto, há a necessidade de criação de alternativas viáveis e seguras para a disposição de estéreis. Um processo de calcinação rápida (*flash*), com pequeno tempo de residência, aplicada solos argilosos, estéreis francos e estéreis de barragens, aumenta substancialmente as superfícies específicas das partículas desses materiais e, em consequência, produz cimento pozolânico de altíssima resistência mecânica e de baixo custo. Esse processo foi testado, com sucesso, em várias amostras de estéreis e estéreis de várias mineradoras brasileiras. Testes especiais foram feitos principalmente em estéreis das barragens da Mina de Minério de ferro. Esse cimento é denominado Metakflex e é patenteado no Brasil e em vários países. O Metakflex pode ser usado na aglomeração de minérios, rações animais, fertilizantes, em bases de estradas, enchimento de minas subterrâneas, construções residenciais e em várias outras aplicações de construção. Fábricas do Metakflex podem ser instaladas próximas às mineradoras visando o mercado para

¹ Professor Departamento de Engenharia de Minas da UFMG, Engenheiro de Minas – Geólogo de Engenharia. *E-mail*<evandrodagama@gmail.com>

² Engenheiro Senior – Consultor. *E-mail*<ricardocordeiro@hotmail.com>

³ Engenheira de Minas – Mestrando. *E-mail* <tamirisseerig2@gmail.com>

esse produto, mas também gerando cimento para mistura com o próprio rejeito excedente. O rejeito a ser misturado ao Metakflex pode, por exemplo, estar sob a forma de *pastamineral* gerada pela sedimentação em espessador especial. A mistura do cimento Metakflex com a pasta mineral permite que os estéreis sejam dispostos em pilhas mesmo em período de alta pluviometria. As barragens de estéreis poderão ser completamente eliminadas com o aumento na segurança e a redução drástica da área de disposição. A venda do Metakflex poderá cobrir os custos de disposição do rejeito excedente.

PALAVRAS-CHAVE: Metakflex; argilas; barragens; estéreis

ABSTRACT:

With the natural exhaustion of reserves with high contents, mineral resources have become poorer in exploitable elements and, consequently, the percentages of waste are increasing. The tailings dam system, the disposal method most widely used in mining in Brazil and around the world, has always been questioned by environmental impacts and occupation of large surfaces. It became also combated because of the potential risk to human life, following recent disruptions units in Minas Gerais State, Brazil. Even the existence of the mining activity has been debated even being essential to human life. So there is the need to create viable and safe alternatives for tailings disposal. A flash calcination with short residence time applied in clays and fine tailings substantially increases the specific surface of the particles of these materials and produces cement high mechanical strength and low cost. This process has been tested successfully in several samples of tailings and waste from several Brazilian mining. Special tests were performed mainly in tailings from Mina de Minério de ferro dams. That cement is named Metakflex and is patented in Brazil and other countries. The Metakflex can be used in the agglomeration of ores, animal feed, fertilizers, road bases, filling underground mines, residential buildings and in various other construction applications. Metakflex factories can be installed close to the mines targeting the market for this product, but also generating cement to mix with tailings surplus. The tailings to be mixed with Metakflex can be in the form of mineral paste generated by sedimentation in special thickener. The mixture of Metakflex cement with mineral paste allows the tailings are disposed in piles even in high rainfall period. The tailings dams can be completely eliminated with increased security and the drastic reduction of disposal area. The sale of Metakflex can cover the disposal costs of tailings surplus.

KEYWORDS: Metakflex; clays; dams; tailings

1 INTRODUÇÃO

Além da natural exaustão das jazidas com altos teores e, em consequência, com percentuais de estéreis crescentes, os solos argilosos lateríticos correspondem a aproximadamente 40 % da superfície continental do planeta. Esse solo é o capeamento de várias reservas minerais, tais como: itabirito, calcário, bauxita, fosfato, dentre outras, além de ser o estéril a ser removido para as atividades necessárias à lavra.

Estudos sobre as propriedades dos solos argilosos, estéreis francos e estéreis de barragens mostraram que, através de processo inovador baseado em uma rápida calcinação, os solos e estéreis desenvolvem importantes propriedades tais como: aumento da superfície específica e do índice de pozolanicidade do material, transformando-o em um aglomerante ativo. As características dos estéreis de usinas de beneficiamento de itabirito, calcário, bauxita, fosfato e outras são praticamente as mesmas dos solos lateríticos, mas com a vantagem de se apresentarem totalmente desagregadas ou britadas e moídas e, portanto, na faixa de tamanho adequada ao uso na calcinação rápida, sem custos adicionais de cominuição.

Conforme já dito neste artigo, esses estéreis argilosos usualmente são sedimentados em espessadores convencionais e diretamente dispostos em barragens, onde são estocados permanentemente, constituindo-se em passivo ambiental e risco permanente devido a potenciais rompimentos dos maciços dessas barragens. A calcinação rápida (*flash*), entretanto, necessita que a sua alimentação seja precedida de secagem. Por sua vez, os equipamentos de secagem, por questões operacionais e econômicas, exigem que suas alimentações tenham o mínimo possível de água. Pois, quanto menor a umidade da alimentação, a operação de secagem fica mais eficiente e, também, mais barata. Os estéreis argilosos sedimentados em espessadores convencionais (*underflow*) não podem ser alimentados em secadores, pois estão com percentagem de sólido máxima de 40%, em peso, ou cada tonelada de rejeito carrega 1,5 m³ de água. Então, para a calcinação *flash* de

estéreis argilosos ser feita na usina de beneficiamento, em operação contínua, haverá a necessidade de esse rejeito ser, previamente, filtrado, com % de sólido entre 10% e 20%, ou sedimentado em espessadores de pasta, com % de sólido entre 60% e 70%, para deixá-lo em condições de alimentação no secador e, em seguida, no forno de calcinação *flash*. Estéreis argilosos filtrados e *underflow* de espessadores de pasta se apresentam prontos para serem, também, dispostos em pilhas de estocagem. Importante observar que, nos capítulos seguintes, as condições específicas para alimentação desses estéreis argilosos, filtrados ou como pasta, em secadores e forno flash, bem como para disposição em pilhas de estocagem, serão descritas, pois cada caso apresenta particularidades para preparação e essas descrições fazem parte dos objetivos deste artigo.

Esse artigo apresenta, então, uma nova tecnologia de calcinação suportada por metodologia de caracterização inovadora, que pode gerar novos produtos e rendas na mineração e, se combinada com métodos de preparação e disposição de estéreis, garantir a eliminação de barragens de estéreis. O resultado imediato é a transformação de estéreis e estéreis argilosos em produtos com qualidades físico-químicas estáveis e de grande resistência mecânica. Essas qualidades mostram que esses produtos podem ser usados como ligantes de alta resistência, passíveis de ser utilizados como base e sub-base para estradas, adição em concretos, argamassas, materiais cerâmicos, fabricação de briquetes e de britas, aglomerantes para pelotas e insumos agrícolas e outros produtos, sendo que esses podem ser utilizados no mercado nacional e internacional. Podem ser usados pela própria mineração em diversas aplicações e, principalmente, para acelerar a estabilidade desses estéreis dispostos, filtrados ou em forma de pasta, em pilhas, eliminando-se totalmente o uso de barragens.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção do Metakflex

2.1.1 Origem do Metakflex

O prefixo meta, de origem grega, indica mudança e significa “além de”. Cientificamente, esse prefixo é utilizado para denotar a última hidratação de uma série (GAMA et al, 2002). No caso do metacaulim e demais metaminais a principal mudança que ocorre é a desidroxilação, advinda da “queima” por período definido. Entre 100°C a 200°C, esses materiais perdem a água absorvida. A temperatura em que a caulinita e demais metaminais perdem água por desidroxilação é entre 500°C a 900°C. Esse processo térmico de ativação do mineral é conhecido como calcinação.

Além de desidroxilação, a caulinita mantém a estrutura do cristal na ordem bidimensional, sendo o produto conhecido como metacaulim (GAMA et al, 2002). A chave no processo de produção do metacaulim, como um material com propriedades pozolânicas, é atingir uma desidroxilação completa, mas sem, no entanto, queimar integralmente o material. A exposição térmica, além do ponto e do tempo definidos, irá resultar na sinterização e na formação de mulita, que não tem propriedades reativas (GAMA et al, 2002). Verificou-se que a calcinação flash aplicada a outros metaminais obtém produtos com as mesmas propriedades aglomerantes da metacaulinita, produto denominado de Metakflex.

Para obter sucesso neste processo é necessário que seja feito um controle de temperatura do tempo de exposição e da qualidade do material (químico, granulométrico e mineralógico) (GAMA et al, 2002). Há, em consequência da calcinação *flash*, um enorme aumento da superfície específica das partículas, que pode atingir 20 m²/g ou até mais.

2.1.2 O Sistema de Calcinação Rápida (Flash)

Conforme já explicado anteriormente neste artigo, o processo de calcinação rápida (*flash*) aplicado em argilas e estéreis finos aumenta substancialmente as superfícies específicas das partículas desses materiais e, em consequência, produz cimento de altíssima resistência mecânica e de baixo custo. Esse cimento é denominado Metakflex e é patenteado no Brasil e em vários países.

O sistema de calcinação *flash* conta com unidade piloto no Brasil, instalada no município de Pedro Leopoldo (MG) e tem sistema industrial projetado e em funcionamento em alguns países. A calcinação flash industrial foi desenvolvida pela empresa francesa Demeter Technologies e é composto de transportador pneumático onde o material é recuperado por ciclones. A concepção industrial é modular, podendo o conjunto ser transportado como uma carreta atrelada a um cavalo mecânico, não necessitando de fundação ou montagens especiais. A Figura 1 mostra uma vista lateral do sistema, com os componentes moega e conversor de alimentação, desagregador e secador, pré-câmara de calor, calcinador, resfriadores com ciclones e silo de estocagem. A instalação é transportada facilmente assim como os acessórios. Na Figura 2 é apresentado, as instalações da Planta Piloto em Pedro Leopoldo.

2.1.3 Testes Piloto de Calcinação Rápida (Flash)

O processo foi testado, com sucesso, em várias amostras de estéreis e estéreis de várias mineradoras brasileiras. Testes especiais foram feitos principalmente em estéreis das barragens da Mina de Minério de ferro. Atualmente, os testes são feitos nas instalações da planta piloto em Pedro Leopoldo (MG). Primeiramente, é feita, em laboratórios nacionais, caracterização mineralógica, química e granulométrica da amostra. Em seguida, cada amostra é testada em bancada para primeira avaliação das qualidades aglomerantes.

Em seguida, testes piloto de calcinação flash são feitos e os produtos são caracterizados em ensaios padronizados de resistência e de características para cada uso específico.



Figura 1 – Calcinador Flash Demeter Technologies

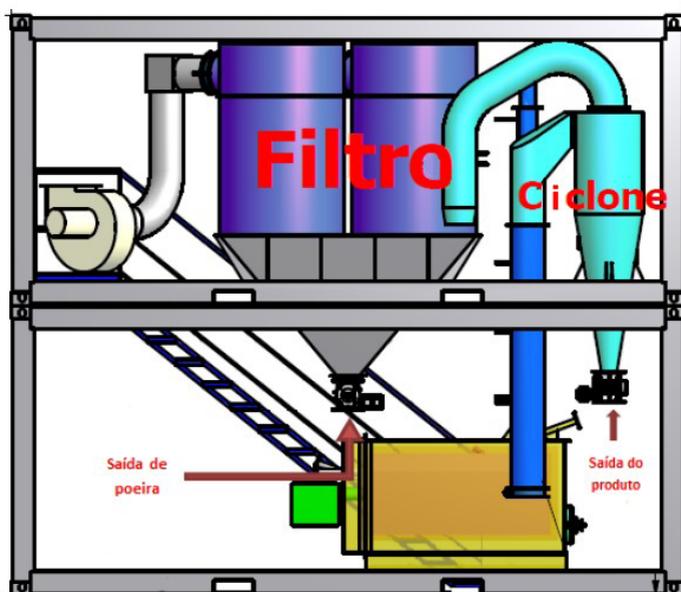


Figura 2 – Instalações da Planta Piloto em Pedro Leopoldo (MG)

A seguir, na tabela 1, resultados de testes feitos com amostras de estéreis de Mina de Mineiro de ferro.

Tabela 1 – Resultados de Testes com Amostras de Estéreis				
Amostra Idade (dias)	Resistência à Compressão (MPa)			
	1	2	3	30
Metabásica	7,1	11,0	12,1	15,1
Filito	5,9	8,9	10,6	10,7

A seguir, na tabela 2, resultados de testes feitos com amostras de estéreis de Mina de calcário.

Tabela 2 – Resultados de Testes com Amostras de Estéreis de calcário				
Amostra Idade (dias)	Resistência à Compressão (MPa)			
	1	2	3	30
Capecamento Argiloso solo laterítico vermelho	10,1	18,9	22,8	35,1
Capecamento Argiloso solo laterítico Amerelo	12,5	21,5	25,6	40,7

2.2 Preparação do Rejeito de Usina de Tratamento para a Calcinação Flash

É importante ressaltar que a calcinação *flash* para produção de Metakflex usa os estéreis argilosos finos <200mesh (0,074 mm), isto é, as lamaz, que são materiais coloidais, de alta perda ao fogo, refratários a quaisquer métodos de tratamento de minério, de difícil sedimentação e filtração, que, hoje, não se prestam a quaisquer utilizações industriais e cujo destino final é somente a disposição em barragens. Isto é, representam somente trabalho e custos.

Há, portanto, distinção dos estéreis não argilosos, com tamanhos acima de 200 mesh, que são facilmente sedimentados em espessadores

convencionais, que chegam a apresentar underflow de até 65% de sólidos e podem ser filtrados em filtros a vácuo horizontais com excelente eficiência e com umidade final de até aproximadamente 12%. Esses estéreis não argilosos não são adequados à produção do Metakflex, mas podem ser facilmente dispostos em pilhas depois de filtrados.

Conforme informado anteriormente neste artigo, esses estéreis argilosos de usinas de concentração de minérios são oriundos de tratamento a úmido, trazem grande quantidade de água e não podem ser alimentados diretamente no sistema de calcinação flash. O sistema atual de desaguamento adotado na quase totalidade dos sistemas de tratamento de estéreis argilosos no Brasil e em muitos países, que é feito em espessador convencional, produz underflow com percentagem de sólido até 40%, em peso, que é adequado para a disposição em barragens de estéreis, mas não é suficientemente desaguado para a alimentação em um sistema de calcinação flash. Então, é necessário que o rejeito seja desaguado até a percentagem de sólidos ou umidade de 6% para ser operacionalmente viável a sua alimentação no sistema industrial de calcinação flash desenvolvido pela Demeter Technologies. Para a obtenção dessa umidade, dois sistemas de desaguamento devem ser avaliados:

- Filtração a vácuo, para obtenção de umidade entre 10% e 20%;
- Sedimentação em espessador de pasta, para obtenção de percentagem de sólido entre 60% e 70%.

Laudriault (2002), na Figura 3 apresenta um gráfico esquemático da tensão de ruptura em função do adensamento da mistura sólido-líquido, no qual são observados distintos estados possíveis: polpa, polpa de alta densidade, pasta e torta. Também são indicados alguns dos equipamentos utilizados nas tarefas de desaguamento, bombeamento e filtragem dessas misturas sólido-líquido, os regimes

e velocidades de fluxo possíveis e as características de segregação das partículas sólidas.

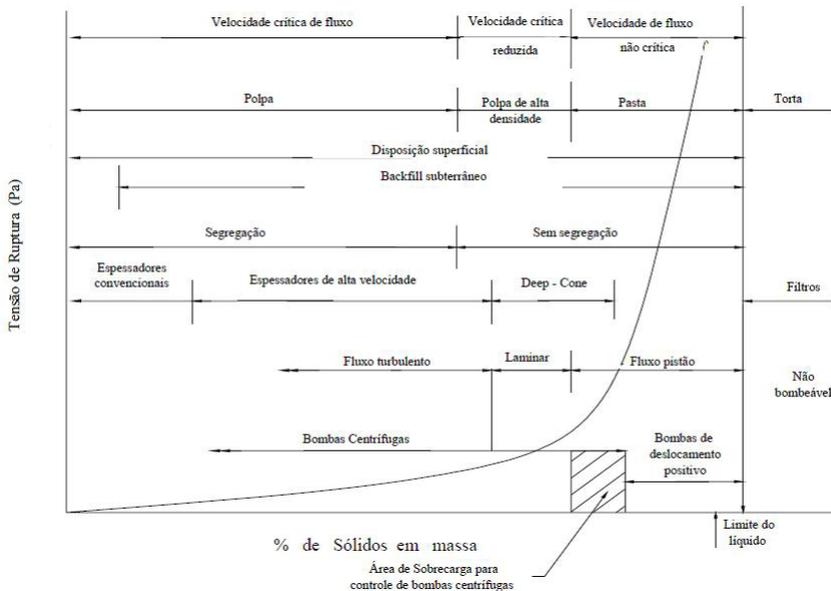


Figura 3 – Tensão de Ruptura: polpa, polpa de alta densidade, pasta e torta (Laudriault, 2002)

Ambos os processos de desaguamento permitem que o rejeito, torta filtrada ou pasta, seja já disposto em pilha de estocagem, sem necessidade de barragem de estéreis. As pastas são bombeadas por bombas de deslocamento positivo e as tortas de filtros não podem ser bombeadas.

Os estéreis filtrados podem ser, em alguns casos, mais adequados para a disposição direta em pilhas e, também, para a calcinação flash. Entretanto, é um processo que pode ser difícil em certos casos, pois a filtração de alguns minerais argilosos e muito finos pode não ser muito eficiente e apresentar algumas restrições ou problemas operacionais em equipamentos industriais do sistema de filtragem. Tem que ser transportado por correias ou caminhões e, em períodos de alta pluviometria, o trânsito e a descarga de caminhões pode ser difícil em pilhas de disposição de estéreis argilosos.

No caso de espessador de pasta, polpas com praticamente todos os minerais argilosos, com poucas exceções, formam pasta e essa pode ser depositada diretamente em pilhas de estocagem. A pasta pode ser transportada por bombeamento, o que, em algumas circunstâncias, tem grande importância operacional.

A estocagem de pasta em pilhas em períodos de alta pluviometria pode exigir alguns cuidados e projetos especiais. Ressalta-se, que, neste artigo, é proposto o uso do Metakflex para resolver também essas restrições de disposição da pasta em períodos de alta pluviometria. Então, os dois sistemas de desaguamento terão que ser avaliados e comparados, em OPEX, CAPEX e eficiência operacional, em cada caso, para cada tipo de rejeito e cada região.

A seguir, uma avaliação resumida de cada processo de desaguamento.

2.2.1 Filtração e Transporte de Estéreis Argilosos

2.2.1.1 Filtração – Conceito Geral

Há muitos tipos de filtros, mas a filtração de minérios muito finos, como é o caso dos estéreis argilosos para a produção de Metakflex é feita mais comumente em escala industrial em filtros a vácuo verticais ou em filtros prensa, como mostrado na Figura 4. Atualmente, os estéreis argilosos não são considerados produtos e não compensam gastos com essa operação. Na maioria dos casos, no Brasil e no mundo, a tecnologia de filtração é usada quase que exclusivamente para produtos que já são comercializados e geram receitas. Então, a filtração a vácuo em filtros verticais ou em filtros prensa de estéreis argilosos é considerada viável tecnicamente, mas não é, ainda, uma operação industrial tradicional e corriqueira na mineração, principalmente para grandes volumes de estéreis argilosos.

Depois de filtrados, os estéreis argilosos, com umidade provavelmente entre 15% e 20%, não apresentam condições para bombeamento e devem ser transportados por caminhões ou correias transportadoras e descarregados em pilhas para disposição final. O transporte por

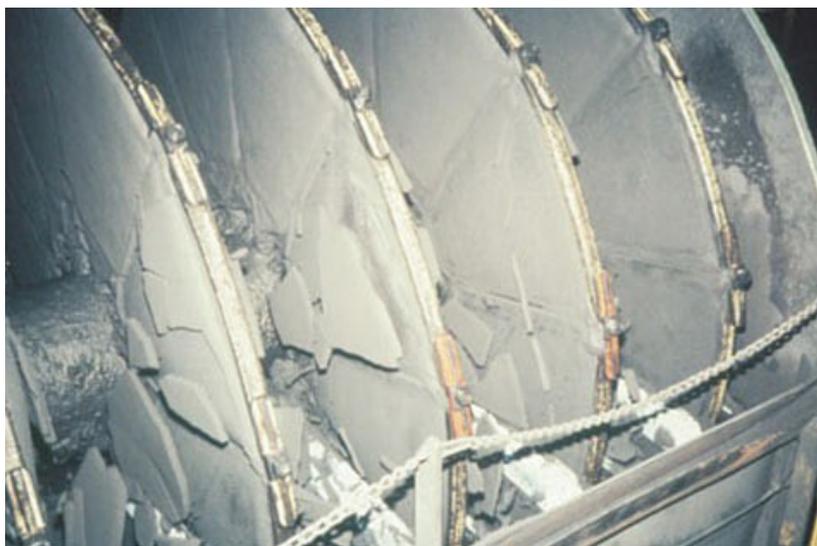


Figura 4 – Filtros – Vertical a Vácuo e Prensa

correia transportadora para disposição em pilhas exige estocagens do rejeito argiloso filtrado em silos intermediários, correias e sistemas de empilhadeiras, que também não são consideradas, ainda, operações industriais tradicionais na mineração, principalmente para projetos de grande porte.

O transporte por caminhões, descarregamento e disposição em pilhas de estéreis argilosos filtrados é operação industrial que pode ser considerada tradicional na mineração, havendo, entretanto, algumas restrições operacionais em função da alta aderência desses estéreis às superfícies dos equipamentos e dificuldade de tráfego de caminhões sobre as pilhas formadas pelos estéreis. Em épocas chuvosas, essas restrições naturais dos estéreis argilosos filtrados se acentuam e podem tornar difícil, em algum momento, as operações.

Portanto, a filtração, transporte e disposição em pilhas de estéreis argilosos de grandes volumes tem potencial para ser viabilizada economicamente, pois existe tecnologia de filtração disponível, ressalvando-se que o manuseio e a disposição devem ser, caso a caso, estudadas e desenvolvidas para busca de soluções de engenharia em relação às questões e potenciais problemas aqui apontados.

Para a calcinação flash, o rejeito argiloso filtrado já apresenta umidade bem próxima da exigida pela secagem do sistema da Demeter Technologies.

2.2.1.2 Filtração – Fluxograma com Metakflex

A mistura com Metakflex não necessitará ser feita para a disposição da torta em pilhas de disposição. Porém, estará prevista a produção do Metakflex diretamente da torta e venda para as diversas aplicações, conforme o fluxograma da Figura 5 a seguir.

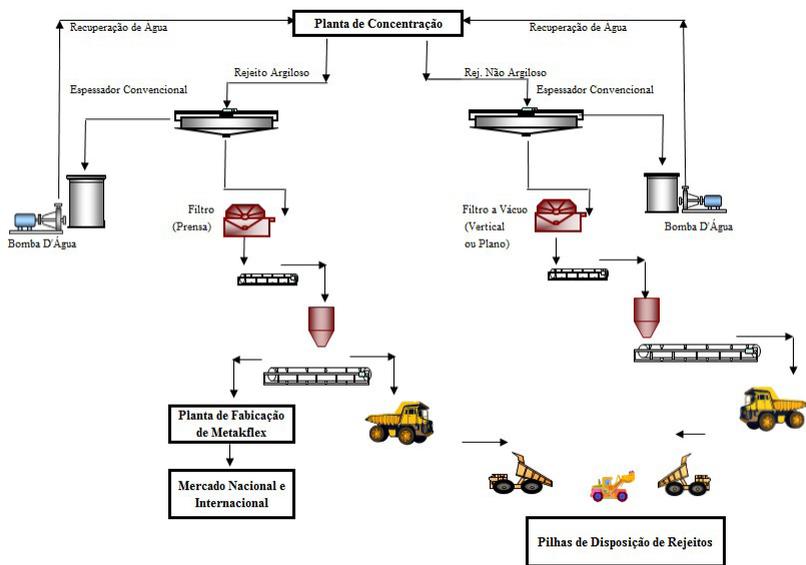


Figura 5 - Filtração – Fluxograma com Metakflex

2.2.2 Sedimentação em Espessador de Pasta

2.2.2.1 Visão Geral - Pasta

Conforme trabalhos de Jewell (2002) e de Araujo e colaboradores (2003), uma pasta mineral pode ser conceituada como um sistema coloidal que se apresenta como um fluido homogêneo, no qual não ocorre a segregação granulométrica das partículas, e que, se disposto de forma suave em superfícies estáveis, não apresenta drenagem significativa de água. Sua conformação e consistência durante sua disposição podem ser avaliadas através dos métodos:

- Teste de cone ou cilindro (teste de “Slump”);
- Teste de calha (teste de Flume.).

O aspecto visual de uma pasta mineral pode ser observado na Figura 6, considerando diferentes adensamentos, conforme registrou (Jewell, 2002) na indústria mineral da Austrália.



Figura 6 – Pasta Mineral

As características do comportamento das pastas são devidas ao adensamento dos sólidos, fazendo que, a partir de uma determinada porcentagem de sólidos, não haja segregação das partículas sólidas na mistura. Como resultado, podem ser obtidos ângulos de disposição mais elevados (faixa de 2% até 5%) do que ao utilizar polpas de underflow de espessadores convencionais, representando um ganho importante em termos de volumes a serem dispostos, sobretudo para grandes áreas, características das disposições em barragens (Araujo et al., 2003).

É importante destacar que dentre as propriedades de uma pasta para a disposição dos estéreis adensados, destacam-se: tensão de ruptura da pasta; altura de Slump, determinada através do teste de Slump; ângulo de repouso, determinado através do teste de Flume ou Calha; viscosidade da mistura sólido-líquido; resistência à compressão determinada através de um ensaio mecânico de tensão (deformação e permeabilidade da pasta com o uso de permeômetros especiais). A Figura 7 apresenta os ângulos possíveis para a disposição de uma polpa de alta densidade e para uma pasta mineral, em uma visão de caráter qualitativo, em vários tipos de terreno (Laudriault, 2002).

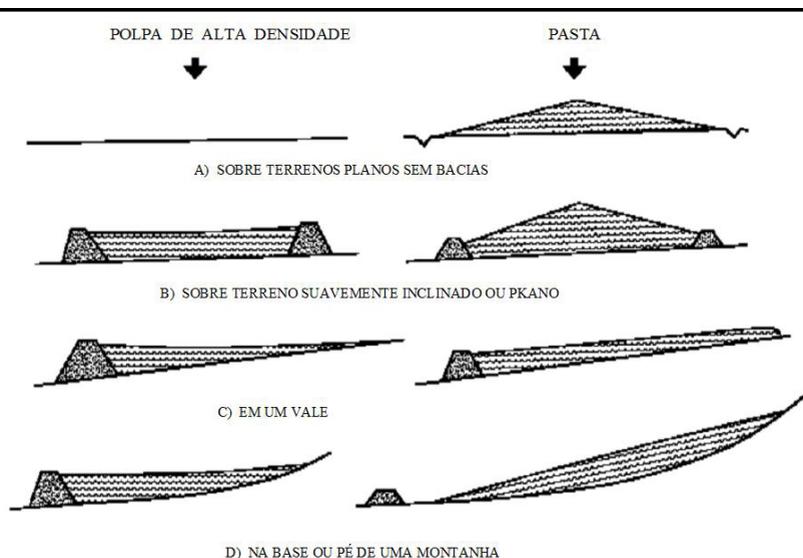


Figura 7 – Ângulos de disposição - Polpa de Alta Densidade e Pastas

2.2.2.2 Espessadores de Pasta

Os equipamentos para a geração de pasta são espessadores com características especiais, conforme mostra a Figura 8.



Figura 8 – Deep Cone Paste Thickeners/EIMCO

Os espessadores de pasta, como mostra a Figura 9, já são tradicionais na indústria mineral de grande porte do mundo, principalmente em regiões mais secas e que exigem maior recuperação de água de processo.



Figura 9 – Deposição de Pasta - Sistema de Torres de Deposição
Fonte: FLSmidth (Dorr-Oliver Eimco)

2.2.2.2 Pasta Com Metakflex

Em minas subterrâneas, o aumento de taxa de extração e mitigação do meio ambiente tem como designação técnica o termo anglo saxônio backfill. O backfill é o mais abrangente método de controle estabilidade do estrato subterrâneo. É possível controlar ou mesmo impedir o colapso da cavidade subterrânea lavrada quando o backfill é adequadamente compactado para suportar as tensões induzidas pela lavra e as tensões remanescentes do maciço rochoso. O backfill é normalmente usado se os métodos de suporte convencionais e /ou a quantidade de pilares torna a lavra deficitária economicamente, ou mesmo para recuperação final de pilares remanescentes, ocasionando uma melhor recuperação do mineral lavrado. Na sua essência o backfill reduz a área das superfícies rochosas expostas em todos os estágios das escavações.

O uso do backfill depende de alguns fatores:

- A disponibilidade de material inerte usualmente produzido nos processos de concentração ou decapeamento.
- Se a superfície livre criada pela escavação como o teto, capa, lapa, pilar, etc não tem estabilidade a longo prazo ou mesmo natural podendo ser necessário o uso de um cimento.

De uma forma geral o backfill é usado para minas em final de operação, entretanto, com os recentes avanços dos preenchimentos hidráulicos com polpas minerais adensadas (pastas ou tortas de filtros), tem sido usado concomitantemente com as operações de lavra subterrânea, não necessariamente em exaustão.

Nessas minas subterrâneas, a pasta ou torta de filtro são misturadas com cimento para enchimento subterrâneo (pastefill). Sofrá e Boger (2002) mostram que o pastefill é uma pasta preparada com estéreis da mineração para preenchimento de cavidades subterrâneas e que melhora as propriedades de suporte da estrutura, permitindo reduzir a disposição superficial dos estéreis. Esses estéreis devem ser primeiramente espessados para formar a pasta e normalmente, são misturados com pequenas quantidades de aglomerantes (cimentos 3% a 5%) para incrementar suas características de resistência. A pasta flui através de um duto com a ajuda da gravidade e após é disposta no local de deposição para fazer o preenchimento subterrâneo.

O pastefill pode ser feito com a adição de Metakflex em substituição ao cimento comum. Então, a proposta aqui apresentada é aproveitar a tecnologia de pastefill para ajudar na disposição de estéreis argilosos em pilhas a céu aberto.

O principal parâmetro é a resistência da pasta e sua estabilidade física e química ao longo do tempo. Esta resistência depende das características mineralógicas intrínsecas dos minerais e cimento Metakflex utilizado, das dimensões das superfícies rochosas expostas, da forma como que o pastefill é depositado, das proteções de drenagens

de águas pluviais, dos diques de contenção para formação dos bancos das pilhas, etc.

A proposta, então, será a deposição da pasta misturada ao Metakflex nos momentos e períodos em que a deposição natural da pasta exigir maior estabilidade e resistência. Preferencialmente, a pasta deverá ser depositada sem a adição de Metakflex, mas com a disponibilidade de mistura ao Metakflex quando houver necessidade para que a pasta depositada ganhe resistência mais rapidamente.

De uma forma geral esta resistência varia entre 1MPa e 4 MPa dependendo do tipo do cimento utilizado e da granulometria do pastefill. Quanto mais uniforme for a granulometria, mais adensado e mais resistente será o pastefill. No entanto, a obtenção dessa resistência por adensamento e adição de cimento depende de testes específicos, equipamentos e porcentagens de um Metakflex adequadas. A resistência a ser adquirida pela pasta e o respectivo tempo necessário dependem dos fatores de exigências da operação de disposição, que poderão variar de acordo com as condições operacionais, topográficas, pluviométricas e outras.

Preliminarmente, as características da pasta com Metakflex deverão seguir aproximadamente os parâmetros de preenchimentos cimentados em lavra subterrânea, que utiliza areias e finos de estéreis. Este método depende de:

- Densidade (normalmente as polpas e pastas devem conter com 70% de sólidos e cimento entre 3 a 10%).
- Tempo de cura que é função do tipo de cimento.
- Quantidade de cimento que é função da solicitação de suporte geomecânico, ou seja, da resistência desejada. Em linhas gerais a resistência aumenta em até três meses com a cura.

De acordo com cada caso, na disposição de pasta em pilhas a céu aberto os parâmetros deverão ser adaptados e avaliados para as condições específicas.

Os parâmetros resistência à compressão uniaxial, coesão e ângulo de atrito são parâmetros básicos para a estabilidade de taludes de barragens. Trabalhos recentes realizados nos Laboratórios de Tecnologia de Rochas - LTR e Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG testaram pastas minerais aditivadas com o Metakflex, como mostrado na Figura 10.

	Metakflex de Pisolito pasta pura	Paste fill com 5% de Metakflex de Pisolito	Metakflex de Siltito pasta pura	Paste fill com 5% de Metakflex de Siltito	Metakflex de ROM pasta pura	Paste fill com 5% de Metakflex de ROM
Resistência à compressão (KPa)	6270	408	6940	570	4250	520
Desvio	1170	53	1270	76	570	34
Coesão (KPa)	770	37	1000	76	570	63
Ângulo de atrito (°)	63,43	69,44	57,72	60,75	59,93	62,65

Figura 10 – Parâmetros de Resistência - Metakflex Puro e com Pasta

A apresentação slump e teste de flume com pasta pura e adição de metakflex, é mostrado na Figura 11, dados dos Laboratórios de Tratamento de Minérios e Tecnologia de Rochas - LTR do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG.

	Paste fill puro	Paste fill com 5% de Metakflex de Pisolito	Paste fill com 5% de Metakflex de Siltito	Paste fill com 5% de Metakflex de ROM
Slump (%) de abatimento	50	52,6	46	61
Flume – (calha) Ângulo (°)	6	7	7,3 a 8,6	7,80
Porcentagem de sólidos	50,2	50,2	51,2	-
Porcentagem de água	49,8	49,8	48,8	-
Densidade (t/m ³)	1,51	1,70	-	-

Figura 11 – Testes Slump e Flume - Metakflex Puro e com Pasta

Os resultados acima mostram claramente que as pastas minerais podem ter suas propriedades de resistência e ângulo de deposição melhorada pela simples adição de Metakflex. Cada rejeito argiloso deverá passar pelos mesmos testes citados acima e outros que se mostrem necessários para a definição de seus respectivos parâmetros de resistência e de características físicas e geotécnicas.

2.2.2.3 Fluxograma Proposto - Pasta Com Metakflex

A mistura com Metakflex necessitará ser feita para a disposição da pasta em pilhas de disposição quando houver períodos chuvosos. A produção do Metakflex para vendas diretas como cimento, a sua mistura com a pasta e a disposição da pasta em pilhas estão no fluxograma da Figura 12 a seguir.

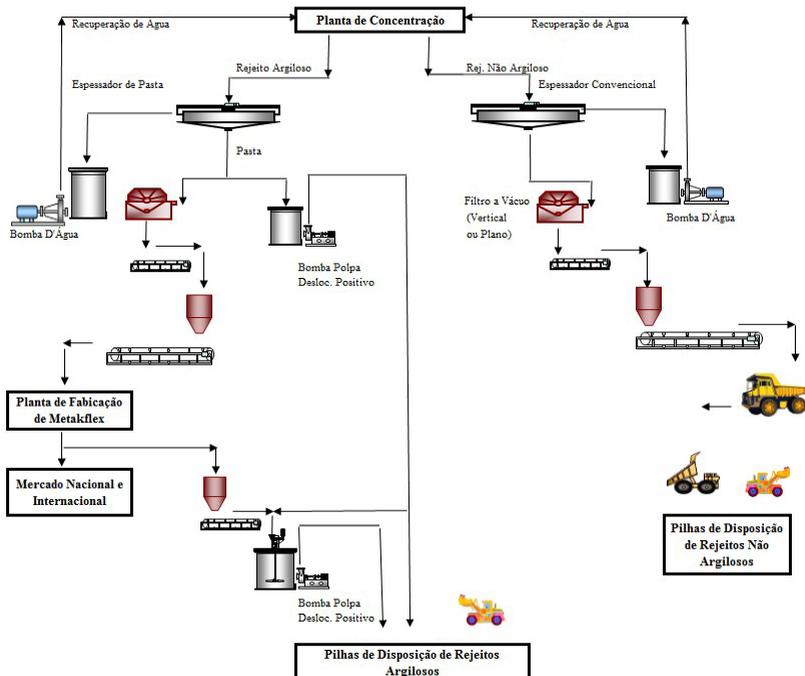


Figura 12 - Pasta – Fluxograma com Metakflex

3 DISCUSSÃO

O adensamento de estéreis finos ou argilosos por filtração ou sedimentação em espessadores de pasta pode ser feita com o uso de equipamentos e tecnologias já consolidadas na indústria mineral mundial. O transporte de torta tem que ser feito por caminhões e o de pasta pode ser feito por bombas de deslocamento positivo, mas são operações totalmente viáveis conforme foi demonstrado. Não há dúvida quanto à viabilidade de disposição de torta em pilhas e a disposição de pasta é somente questionada por alguns especialistas quando enfrenta períodos chuvosos. Entretanto, são tecnologias com OPEX e CAPEX maiores se comparados ao espessamento em espessadores convencionais e disposição em barragens. A tecnologia de produção do Metakflex já é usada industrialmente e há equipamentos de porte industrial disponíveis no mercado, bem como está disponível no Brasil laboratório para testes de bancada e piloto, que permite simular e testar a qualidade do Metakflex e estimar os custos de produção para cada tipo de matéria prima.

Porém, a tecnologia de produção do Metakflex abre potencial para a utilização comercial desses estéreis finos ou argilosos, com geração de novas receitas, que podem cobrir esses custos mais elevados e, ainda, gerar lucros. A pasta pode ser misturada ao Metakflex, como é feito há décadas nos sistemas de backfill de minas subterrâneas, em épocas chuvosas e acelerar a consolidação da mesma nos bancos das pilhas a céu aberto, eliminando essa dúvida levantada por alguns especialistas. Portanto, todas as tecnologias citadas neste artigo estão disponíveis no mercado nacional ou internacional em escalas de bancada, piloto e industrial.

4 CONCLUSÕES

A transformação de rejeito argiloso de mineração em produto gerador de receita e, ao mesmo tempo, promover a eliminação do sistema de barragem de estéreis mostra que o uso de Metakflex associado ao

sistema de produção de pasta ou torta de filtro pode ser um caminho muito promissor para a mineração atual. O sistema proposto elimina os grandes riscos apresentados pelas estruturas de barragens.

Ao criar um novo produto com os estéreis argilosos, cria a abertura para o desenvolvimento de suas aplicações e entrada de novas receitas. Em função do aumento gradativo dos mercados, há a criação de potencial para a cobertura dos novos custos com o tratamento de estéreis e, com a consolidação dos novos produtos, poderão ocorrer até novos lucros, além daqueles obtidos com a venda dos produtos minerais.

A grande e quase ilimitada utilização do cimento Metakflex permitirá o desenvolvimento de grande mercado, pois o Metakflex, produzido de estéreis argilosos de minerações, tem, com certeza, custos muito menores em relação aos cimentos calcários disponíveis no mercado nacional e internacional.

A segurança da disposição desses estéreis em pilhas a céu aberto em substituição às barragens é um benefício adicional de imensurável valor, pois, com certeza, evitará as trágicas consequências dos rompimentos dos maciços das barragens de polpas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Gama E.M.*et all* (2014).Moderna planta piloto de aglomeração a frio de finos de minérios de ferro empregando disco pelletizador scarabaeus-1000. *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

Gama E.M., Gomes A.M., Vieira C.B. (2014).Aproveitamento de capeamento de minas de minério de ferro através de processo de calcinação flash para produção de ligante de alta resistência. *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

Gama, EM.(2008); inventor; Universidade Federal de Ouro Preto, Cessionário.Processo de preparação de metakflex aglomerante de alta resistência de produtos e processos que venham a utilizar metakflex. Brasil patente no Brasil PI 0604142-6A. 22 de Abril de 2008.

Gama, EM.*et all*(2014). Planta piloto de produção de Metakflex e seu uso como aglomerante no pelotamento de minério de ferro. A ser publicado no Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro da ABM. Belo Horizonte, Setembro de 2014.

Silva, GS. (2014). Calcinação flash de lamaz de barragem de rejeito para a produção de metakflex e o seu emprego como aglomerante no pelotamento deconcentrados de minérios itabiríticos. Proposta de monografia de final de curso de engenharia metalúrgica. Universidade Federal de Ouro Preto. 59p. 2014.

TU Bergakademie Freiberg; Haver Engineering GmbH,. Meißen/ Deutschland – Germany. 2014. Disponível em: <<http://www.haverengineering.de>>

Acesso em: 21 julho 2016.

Albuquerque L.H., Gomes R.C (2005). Revista Solos e Rochas Volume 1.

Araujo, A. C., Valadão, G. E. S., Hernández, C. A. O. (2004). Novas Alternativas para Disposição dos Estéreis: É Possível se Quebrar Alguns Paradigmas? XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Florianópolis, v.2. p.169 – 176.

Gama, E. M., Gomes, A. M., Valadão, G. E. S., GALERY, R., HERNÁNDEZ, C. A. (2004). Estéreis de Mineração Transformados em Pozolana de Alta Reatividade Meta Caulim. III Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto - III Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea, 2004, Belo Horizonte. CDROM.

Gama, E. M. (2003) patente FR98001149 . PI 9809941-8.

Jewell, R. (2002). Paste & Thickened Tailing (P&TT), (2002) Australian Mining Industry. High Density & Paste 2002 Seminar, Santiago - Chile, Apresentações digitais.

Jung, S. J., Biswas, K., (2002). Review of Current High Density Paste Fill and its Technology. Mineral Resources Engineering, Idaho. USA, Vol. 11, No. 2, p. 165-182.

Laudriault, D. (2002). The Surface Disposal of Industrial Waste: Slurry Placement v/s High Density Slurry Placement v/s Placement as a Paste. High Density & Paste 2002 Seminar, Santiago - Chile, Digital presentations. Santiago, 2002.

Mitchell, R J et al Geotech Journal (1982). vol 19 pp 14-28.

Rice, S. (2002). Dewatering Tailings for Surface . Tailings Management. High Density & Paste 2002 Seminar, Santiago - Chile, apresentações digitais.

Richard Jewell (2003). Centre of Geomechanics . Austrália.

Sofrá, F., Boger, D. V. (2002). Environmental Rheology for Waste Minimisation in the Minerals Industry. Chemical Engineering Journal, n.86, p. 319-330.

Van Deventer, J.S.J., Luckey, G. C. Sustainability in the Minerals Industry: Threat or Opportunity? (2003) XXII International Mineral Processing Congress, Cape Town . Africa do Sul, p. 29-30.