

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas

ISSN 0104-0553

BT/PMI/114

**Aplicação de Aditivos Químicos à
Filtragem de Polpas Minerais**

Luis Gustavo Esteves Pereira
Laurindo de Salles Leal Filho



PDF

São Paulo – 2000

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Luis Gustavo Esteves Pereira, sob a orientação do Prof. Dr. Laurindo de Salles Leal Filho: "Aplicação de Aditivos Químicos à Filtragem de Polpas Minerais", defendida em 03/05/2000, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira, Luis Gustavo Esteves

Aplicação de aditivos químicos à filtragem de polpas minerais /
L.G.E. Pereira, L.S. Leal Filho. – São Paulo : EPUSP, 2000.

p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/114)

1. Filtragem 2. Surfactantes 3. Floculantes 4. Desaguamento 5. Minérios - Processamento I. Leal Filho, Laurindo de Salles II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série

ISSN 0104-0553

CDU 66.067.1
661.185.1
66.065.2
66.069
622.7

Resumo

Este trabalho apresenta uma revisão geral do estado da arte da aplicação de aditivos químicos à filtragem de polpas minerais associada à experiência pessoal do autor. Aditivos químicos podem ser utilizados para reduzir a umidade e taxa de filtragem tanto da torta quanto do filtrado. O papel da porosidade e dos fenômenos interfaciais, bem como o uso da teoria de filtragem aplicada a esse processo a pressão constante são discutidos, assim como o uso desta teoria para modelamento do desempenho de aditivos químicos.

Abstract

This work presents a general review of the state of art about the use of chemical additives to the process of mineral filtration associated to the personal experience of the author. Chemical additives can be used to improve the moisture reduction of cakes, to improve cake productivity and also the filtration flux. The role of cake porosity and the interfacial phenomena as well as the use of the filtration theory under constant pressure are discussed and also how to apply this theory to the modeling of the chemical additive performance.

1. Introdução

A utilização de aditivos químicos para melhorar o desempenho de operações unitárias de filtragem já ocorre há mais de 45 anos. Neste intervalo, muito se avançou nos conhecimentos dos mecanismos que regem a ação desses reagentes (surfactantes, floculantes e coagulantes) e tal conhecimento tem alavancado o desenvolvimento de novos produtos que proporcionam não somente redução de custo, mas também otimização de desempenho.

A indústria mineral utiliza operações unitárias de filtragem em duas situações distintas:

- No tratamento de minérios convencional, a filtragem possibilita o desaguamento do concentrados ou rejeitos, preparando-os para posterior secagem, homogeneização, transporte ou disposição no meio ambiente. Neste caso, temos como exemplo a filtragem de carvão, bauxita, caulim, minério de ferro e fosfato, dentre outros;
- Na hidrometalurgia, quando o interesse recai sobre a recuperação da porção líquida da polpa ("licor") que, via de regra, contém solubilizados metais que futuras operações unitárias (precipitação seletiva, eletrólise, extração por solvente, troca iônica, adsorção) irão extrair. Citam-se como exemplos os processos tradicionais de recuperação de alumínio (processo Bayer), ouro, zinco, cobre, urânio e

muitos outros.

Aditivos químicos podem ser adicionados à filtragem com três finalidades principais: reduzir a umidade da torta, aumentar a produção de torta (produtividade da torta) e aumentar a taxa de filtragem do líquido.

A escolha do aditivo químico que será utilizado depende do objetivo que se almeja. Se este for para a redução de umidade da torta, a escolha inicial deverá recair sobre um surfactante. Para aumentar a taxa de produção de sólidos, ou taxa de filtração, certamente um floculante ou coagulante poderá ser mais indicado.

O beneficiamento de carvão constitui uma boa referência para exemplificar a aplicação de reagentes auxiliares de filtragem. A redução de umidade da torta proporciona melhores características de manuseio: o material não escorrega nas correias e também não congela nos locais de baixa temperatura; o custo de transporte é otimizado, uma vez que menos água será transportada por unidade de massa, o poder calorífico do carvão é maximizado e, finalmente, os problemas devido a poluição ambiental também são minimizados (drenagem ácidas e emissões de SO_3 pela queima de óleo na secagem).

Exemplos práticos de aplicação não se limitam ao beneficiamento de carvão. Para evaporar 1 t de água são necessários entre 10^9 e 10^{10} J de energia. Numa refinaria de alumina de grande porte ($4,4 \times 10^6$ t/ano), uma redução de umidade de 7% para 6% representa um economia de 2×10^{13} J/ano^{14,17}. Para os processos de hidrometalurgia redução de umidade representa, ainda, uma redução da perda de elementos valiosos contidos no líquido remanescente na torta.

Os fenômenos citados acima nunca podem ser considerados isoladamente do objetivo do tratamento e das características do material a ser tratado. Os fatores inerentes ao material como distribuição de tamanhos, formato das partículas e sua porosidade bem como os fatores físico-químicos inerentes ao sólido e ao meio são de crucial importância na aplicação e no desenvolvimentos de aditivos químicos.

Este trabalho pretende não esgotar, mas contribuir para a compreensão do processo de adição de produtos químicos a filtragem, não somente pela revisão bibliográfica dos principais conceitos e estado da arte, mas também pela experiência profissional do autor na área de aditivos químicos para processos minerais.

* As referências bibliográficas estão apresentadas em ordem alfabética e numeradas para facilidade de busca.

2. Objetivos e relevância

Apesar do beneficiamento de minérios utilizar intensivamente filtragem como operação unitária de desaguamento, os engenheiros de minas e metalurgistas raramente lhe devotam grande atenção, seja por desinteresse ou por carência de embasamento teórico. Essa situação se torna ainda mais grave quando o uso de aditivos químicos se torna uma necessidade. Deste modo, este trabalho objetiva compilar e reportar uma massa crítica de conhecimentos capazes de auxiliar engenheiros tratamentistas a compreender não somente os mecanismos de filtragem, mas também a atuação dos produtos químicos utilizados para melhorar seu desempenho.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Teoria de filtragem e de desaguamento capilar

As Bases para o estudo da filtragem se originam no domínio da Mecânica de Solos, mais precisamente nos estudos efetuados por Darcy com solos e areia, em 1830^{1, 2, 21}. O processo de filtragem é executado por meio da passagem de um líquido através de um meio poroso. Tal fenômeno pode ser descrito pela equação (1) desde que o índice de vazios (ε) do leito seja constante^{2, 11}. Neste caso, ΔP é a diferença de pressão através da torta, enquanto que os parâmetros K e α caracterizam as propriedades de filtragem da torta.

$$u = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = K \frac{\Delta P}{\mu L} = \frac{A \Delta P}{\mu \alpha W} \quad (1)$$

onde u é velocidade média de percolação do fluido (m/h); A é a área do leito de sólido; V , o volume de fluido no tempo t ; K é a permeabilidade da torta; α é a resistência específica da torta; μ é a viscosidade do fluido; ΔP é a diferença de pressão através do torta; L é a espessura da torta; W é a massa seca da torta

No regime laminar, a permeabilidade (K) da torta se relaciona com o índice de vazios do meio (ε) e a área específica das partículas (S), através da equação (2), de Kozeny-Carman^{6, 11, 24}:

$$K = \frac{1}{k} \frac{\varepsilon^3}{S^2 (1 - \varepsilon)^2} \quad (2)$$

Na equação (2), k é a constante de Kozeny, que é função da porosidade da torta, da forma/orientação das partículas e de sua distribuição granulométrica.

Considerando-se agora que a filtragem é afetada não somente pela resistência da torta, mas também pelo meio filtrante, chega-se à equação (3).

Esta é a equação que serve de base para o entendimento e dimensionamento da filtragem¹⁷.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu R_m}{A \Delta P} + \frac{\mu \alpha c V}{A^2 \Delta P} \quad (3)$$

onde A é a área total de filtragem [m^2]; c é a concentração de sólidos suspensos [kg/m^3]; R_m é a resistência do meio filtrante [m^{-1}]; t é o tempo [s]; V é o volume de filtrado [m^3]; α é a resistência específica média da torta [m/kg]; ΔP é a Diferença de pressão através da torta e do meio filtrante; μ é a viscosidade do líquido [Pa s]

Dividindo-se ambos os lados da equação (3) pela área de filtragem, o resultado obtido será a taxa de filtragem (F) ($m^3/m^2/h$), conforme apresentada na equação (4).

$$F = \frac{1}{\mu R_m + \frac{\alpha c \mu V}{A}} \Delta P, [m/h] \quad (4)$$

Finalmente, integrando-se a equação (3), e considerando-se que a filtragem ocorre a pressão constante, tem-se:

$$R_p V + \frac{R_t}{2} V^2 = A \Delta P t \quad (5)$$

$$\text{onde, } R_p = \mu R_m \quad (6) \text{ e } R_t = \frac{\alpha c \mu}{A} \quad (7)$$

Em diversas aplicações, a resistência do tecido é pequena quando comparada com a resistência da torta, sendo que a sua influência é exercida apenas nos instantes iniciais da filtragem. Assim, o termo devido à resistência⁽¹⁾ do tecido pode ser eliminado nas equações (4).

$$\text{Desta forma: } F = \frac{1}{R_t V} \Delta P \quad (8)$$

Para efeitos didáticos, podemos, agora, escrever a equação (5) conforme abaixo:

$$aV + bV^2 = t \quad (9)$$

$$\text{onde } a = \frac{R_p}{A \Delta P} \quad (10) \text{ e } b = \frac{R_t}{2 A \Delta P} \quad (11)$$

Assim, se o volume ou a massa de filtrado forem medidos em função do tempo (t) é possível calcular os valores de a e b através do método dos mínimos quadrados e desta forma calcular os parâmetros α e R_m , permitindo a modelagem da taxa de filtragem no tempo.

O desaguamento pode ser caracterizado pela pressão aplicada (capilar) versos a relação de saturação denominada "função de pressão capilar" (*capillary pressure function*)^{4, 18}. Assim, a torta, inicialmente saturada com líquido requer

um queda de pressão capilar crítica, conhecida como "*threshold pressure*" (pressão mínima ou pressão limite), antes de iniciar o desaguamento. Como uma primeira aproximação, a torta pode ser entendida como um conjunto de capilares de tamanhos desiguais. A pressão necessária para drenar um capilar de raio (r) obtida pelo balanceamento das forças de pressão e de tensão interfacial, conforme a equação (29), também chamada equação de Young-Laplace^{10, 17, 18, 26}.

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV} \cos \theta_{LS}}{r} \quad (12)$$

onde ΔP é a pressão através da torta; γ_{LV} é a tensão superficial (na interface líquido/vapor); θ_{LS} é o ângulo de contato na interface líquido/sólido; r é o raio do poro.

Desta forma, a "pressão mínima" ("*threshold pressure*"), ΔP_b , pode ser estimada pela equação (12), considerando-se $r = r_{max}$, se a distribuição de tamanhos dos poros estiver disponível. Wakman^{4, 29} sugere a equação (30) como uma alternativa para o cálculo de ΔP_b .

$$\Delta P_b^* \equiv \Delta P_b \equiv k_1 \frac{(1 - \varepsilon) \gamma_{LV} \cos \theta_{LS}}{\alpha d_p} \quad (13)$$

Para pressões maiores que ΔP_b , a saturação (S) cai abaixo de 1, podendo, eventualmente atingir o valor limite de saturação (S_∞) para pressões limites (ΔP_∞). A partir daí, qualquer aumento no vácuo não reduzirá mais a saturação do meio. Assim, ΔP_∞ pode ser vista como a pressão capilar do mínimo tamanho de poro drenável (r_{min}). Umidades residuais abaixo deste ponto estariam retidas em poros fechados, nas conexões entre esses poros, como anéis pendulares^{10, 12, 24, 29}.

A figura 1, ilustra os etapas do processo de desaguamento descritas acima, conforme proposto por Wakeman²⁹. Neste modelo, a torta de filtragem é considerada como composta de partículas discretas inicialmente saturadas com líquido. A aplicação de vácuo sobre a torta saturada inicia a drenagem, com a subsequente formação de "dedos" de ar se estendendo pela torta. O comprimento desses "dedos" vai aumentando conforme aumenta o vácuo aplicado. Num instante posterior, alguns deles se estenderão continuamente através da torta, atingindo-se, desta forma, o equilíbrio entre o vácuo aplicado, tensões interfaciais e a pressão sobre o líquido no poros.

Versluys^{3, 11} denomina o estado de equilíbrio descrito na figura 1(a) de "estado capilar". A situação descrita nas figuras 1(b) e 1(c) foi denominada de "estado funicular" e finalmente,

o equilíbrio final descrito na figura 1(d), onde cessa o fluxo de água, ficando apenas água residual nos poros fechados e entre as partículas, foi denominado "estado pendular"^{18, 29}.

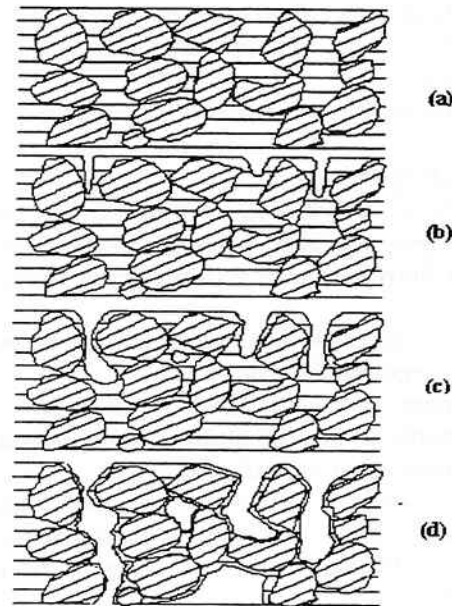


Figura 1 - estados do líquido e do ar durante o desaguamento. (a) o fluido nos poros é somente líquido; (b) e (c) o fluido nos poros é líquido com "dedos" de ar; (d) o fluido nos poros é líquido com "dedos" de ar e canais de ar passando através da torta.²⁹

Finalmente, as propriedades do fluido que influenciam o desaguamento da torta são:

- a viscosidade;
- a tensão superficial;
- ângulo de contato.

A viscosidade afeta a cinética de desaguamento e a sua importância irá depender do tempo de desaguamento disponível. Por outro lado, sua magnitude não afeta o valor do equilíbrio de saturação, o qual certamente é influenciado tanto por γ_{LV} , quanto pelo ângulo de contato (θ_{LS}), conforme as equação (12).

Do ponto de vista da torta de filtragem, a propriedade desta que influencia o desaguamento é sua resistência específica (α) que, conforme visto depende da permeabilidade do meio. Esta, por sua vez, depende da granulometria, forma, rugosidade e arranjo espacial das partículas. Deve-se observar que esta variável também está relacionada à velocidade de desaguamento, não afetando propriamente o equilíbrio de saturação.

Na realidade, o ângulo de contato também é dependente da natureza da partícula e da forma de sua superfície. Esta variável foi classificada como uma propriedade do fluido porque este trabalho enfoca o uso dos aditivos químicos com o

intuito de modificar suas características.

A adição de um surfactante tanto no pré-tratamento da polpa ou durante a filtragem, como na água de lavagem da torta, quando aplicável, poderia trazer os seguintes benefícios:

- redução de umidade (da torta) devida à redução da tensão superficial do fluido filtrado;
- redução da umidade (da torta) devida ao aumento do ângulo de contato fluido/partícula;
- redução da umidade e aumento da taxa de filtragem devidos à agregação das partículas por hidrofobização e conseqüente redução de α .

A adição de um agente agregante poderia trazer os seguintes benefícios:

- aumento da taxa de formação da torta;
- aumento da taxa de filtragem devido à redução da resistência específica da torta.

A tabela 1, resume as principais variáveis que influenciam o processo de desaguamento de tortas de filtragem, e que foram discutidas anteriormente.

Tabela 1 - principais variáveis que influenciam no desaguamento da torta¹⁶.

Parâmetros	Métodos de Medida
1. Propriedades da torta	Peneiramento, sedimentação, contador coulter, análise de imagens, difração de laser, porosímetro de mercúrio
a) Tamanho e distribuição de partículas	
b) Forma das partículas	Microscopia (ótica/eletrônica)
c) Carga das partículas	Eletroforese
d) Modo de acomodação e compactação das partículas	Porosímetro de mercúrio, potencial de sucção capilar
2. Propriedades interfaciais	Anel de Du Nouy, placa de Wilhelmy, gota pendente, gota sésil
a) tensão superficial (γ_{LV})	
b) ângulo de contato (θ_{LS})	Taxa de penetração, pressão de deslocamento
3. Propriedades do Fluido	Viscosímetro
a) viscosidade	
b) densidade	Gravimétrico
4. Outros Fatores	
a) temperatura	termômetros,

	termopares
b) gradiente de pressão	manômetros

3.2. Mecanismos de ação dos surfactantes.

Surfactantes são espécies químicas cujas moléculas apresentam caráter anfipático, isto é, uma porção da molécula exibe afinidade pela água e/ou solventes polares (hidrofílica), enquanto que a outra parte repele tais solventes e, em contrapartida, exibe grande afinidade por solventes apolares, como gorduras e ar (hidrofóbica)²⁰.

O termo surfactante vem do inglês *surface active agent*, que expressa com clareza a habilidade de tais reagentes em se concentrarem nas interfaces sólido/líquido e líquido/ar. Esses compostos, quando presentes em pequenas concentrações, tem a capacidade de alterar a energia de superfície destas interfaces.

Na interface sólido/líquido(água), se a porção sólida for uma substância polar, a molécula do surfactante se adsorverá segundo orientação descrita na figura 2(A), "mutatis mutandis" para o caso em que a porção sólida for uma substância apolar, figura 2(B).

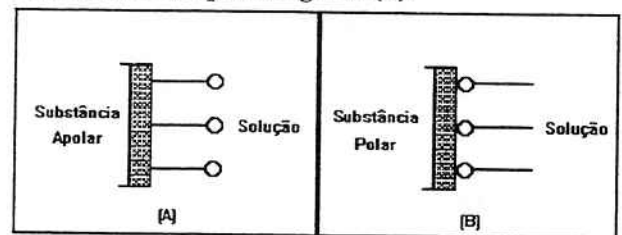


Figura 2 - mecanismo de adsorção. (A) substrato apolar; (B) substrato polar.

Na interface líquido/ar, as moléculas de surfactantes sempre orientar-se-ão no sentido de ter o seu radical hidrocarbônico para a parte apolar (ar atmosférico), ficando a parte polar voltada para a solução. Neste caso haverá sempre um rebaixamento da tensão superficial da solução, sendo este tanto maior quanto maior for o comprimento da cadeia hidrocarbônica.

O comportamento dos surfactantes em solução está esquematicamente representado na figura 3.²⁵

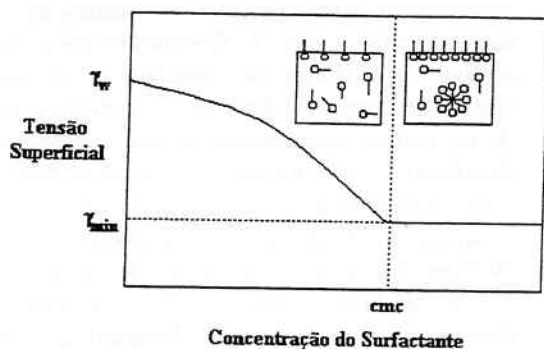


Figura 3 - redução da tensão superficial pela ação de um surfactante na interface líquido/ar.²⁵

Para concentrações (c) menores que a cmc (concentração crítica de formação de micelas), a adsorção na interface líquido/ar conduz ao abaixamento da tensão superficial. Acima da cmc , qualquer quantidade adicional de surfactante formará as chamadas micelas, que são agregados moleculares reversíveis, os quais podem ser considerados como reservatórios de surfactantes²⁵. A tensão superficial permanece constante após a cmc ³³.

3.3. Mecanismos de Ação dos Agentes Agregantes

Ao mencionar agentes agregantes está-se referindo a dois mecanismos básicos de agregação de partículas em uma polpa: i) coagulação e ii) floculação.

A coagulação é um processo de redução da carga de superfície das partículas onde as forças eletrostáticas são minimizadas através da compressão da dupla camada elétrica ou adsorção de íons de carga contrária até o ponto onde as forças de Van de Waals possam predominar e causar a agregação das partículas suspensas, desestabilizando a solução. O produto químico que realiza essa operação é chamado de coagulante.

Basicamente, os coagulantes são polímeros de peso molecular baixo a médio (2000 a 200M) quando comparados com os floculantes (5-20MM). Se os coagulantes funcionam como neutralizantes de carga negativa na superfície da partícula, são polímeros catiônicos.

A floculação é um processo de agregação de sólidos suspensos no qual nenhuma mudança substancial de carga de superfície acontece. O produto químico que realiza esta operação é um floculante.

A maioria dos floculantes utilizados na indústria mineral são copolímeros de acrilamida e acrilato de sódio. Esse polímero é aniônico devido ao seu grupo carboxilato de carga negativa. Se a

quantidade relativa de acrilato de sódio na acrilamida é alta, o produto é considerado altamente aniônico. Se esta quantidade é baixa, o polímero é considerado levemente aniônico.

A função primária do grupo acrilamida em copolímeros é adsorção (forma grandes flocos) por pontes de hidrogênio. A função primária dos grupos carboxilatos é aumentar a cadeia de polímero em solução por repulsão eletrostática, possibilitando que a molécula fique mais estendida e, assim, interligue as partículas mais facilmente^{13, 19}. Por esse motivo, diz-se que o mecanismo de ação dos floculantes é o de formar uma ponte física entre as partículas, agregando-as.

3.4. Aditivos Químicos como Auxiliares de Filtração.

O primeiro trabalho que se tem notícia a respeito da uso de aditivos químicos no auxílio ao desaguamento por filtragem foi apresentado por Silverblatt e Dahlstrom, em 1954^{7, 24}. Esses autores estudaram o efeito da viscosidade e da tensão superficial na umidade da torta de filtragem de polpa de carvão fino. Desde então, inúmeros autores^{3, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 25, 26} têm publicado trabalhos descrevendo aplicações de surfactantes para redução de umidade na filtragem, bem como discutindo os conceitos envolvidos nesse processo.

Pearse e Allen¹² resumiram de maneira bastante clara o efeito da adição de aditivos químicos sobre a filtragem, conforme ilustrado na figura 4.

Neste modelo, são descritos o comportamento da água durante a filtragem comparando-se uma polpa floculada com uma polpa não floculada. Também são demonstrados o efeito da adição de um surfactante para cada uma das polpas.

Durante o estágio de formação, micro-capilares ou os espaços intersticiais entre as partículas em contato estão saturados de água. Se o vácuo aplicado excede a pressão capilar negativa na interface, inicia-se o deslocamento da água e formação dos "dedos de ar" no ponto P, figura 14. Durante o desaguamento relativamente rápido que ocorre no estado funicular, existe uma rede de ar e água através da torta. A drenagem da torta continua até atingir-se o estado pendular^{10, 18}, onde existem apenas pequenas lentes de água no ponto de contato entre as partículas. Desaguamento além desse ponto ocorre apenas por evaporação devido à passagem de ar pelos poros^{10, 12}.

Com a polpa floculada, a situação é consideravelmente diferente. Durante a etapa de formação, os flocos retêm uma grande quantidade de água. Esta água está presente tanto nos macrocapilares entre os flocos, e portanto dita interflocular, quanto dentro dos mesmos, denominada intraflocular. A velocidade de formação da torta é muito maior que para uma polpa não floculada. Desta forma, para uma mesma massa seca de torta, o tempo de formação pode ser reduzido através da adição de um aditivo deste tipo. Observa-se, ainda, uma rápida drenagem da água interflocular, e a umidade da torta cai drasticamente, o que significa uma necessidade de menor tempo de secagem para se atingir um valor específico de umidade. Isto ocorre porque a resistência da torta é menor.

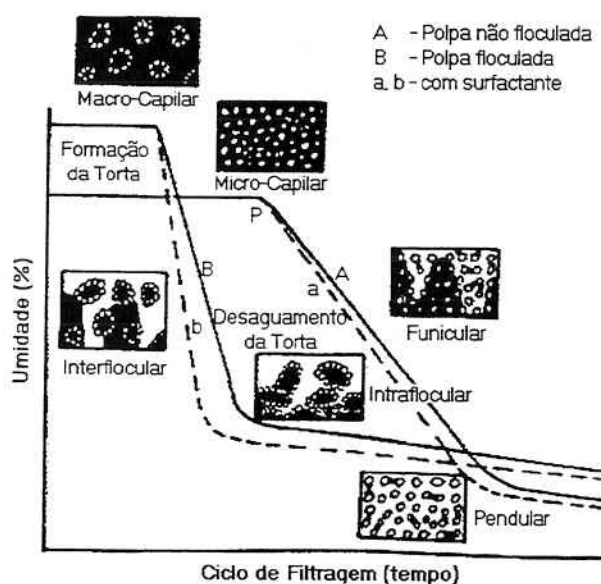


Figura 14 - estados da água em tortas floculadas e não floculadas²⁴.

Observações das tortas de filtração em microscópio eletrônico feitas por Clement e Bonjer¹ indicam que a sua estrutura é determinada principalmente pela forma e pelo tamanho das partículas minerais. A adição de polímeros conduz a uma distribuição mais uniforme dos poros e também ao aumento da porosidade.

Contudo, para longos períodos de filtração, pode-se notar que a água intraflocular, presa dentro da estrutura floculada produz maior umidade residual da torta. Neste ponto, o desaguamento ainda ocorre, apesar de bastante lento, devido a compressão da estrutura flocular, conduzindo a exudação intraflocular e colapso dos flocos.

Segundo Pearse e Allen¹² em geral, para as aplicações comerciais de filtração a vácuo, o estado

intraflocular não chega a ser atingido, o que significa que o uso de floculantes seria bastante efetivo na redução de umidade e do ciclo de filtração. Contudo, deve-se ter sempre o cuidado de se avaliar corretamente o tipo e a dosagem de floculante a ser utilizado pois dependendo do peso molecular do mesmo e da dosagem utilizada, a quantidade de água intraflocular seria tão elevada que todo o efeito do floculante sobre a permeabilidade da torta poderia ser descompensado por esta, levando a uma alta produtividade, baixo ciclo de secagem, mas certamente alta umidade final. Essa opinião também é compartilhada por Lewellyn e Avotins⁷. Neste caso uma solução alternativa seria a aplicação de coagulantes. Estes poderiam ser mais eficientes no que diz respeito a umidade final da torta que a utilização de floculantes, uma vez que o estado intraflocular seria atingindo a umidades mais baixas.

Outra vantagem do uso do floculante seria uma melhor uniformidade da torta, tanto em espessura, quanto em distribuição granulométrica, o que evitaria a passagem prematura de ar pela torta, causando perda de vácuo^{1, 7, 12}. Pela mesma razão acima a descarga da torta também seria facilitada e a vida do tecido de filtração seria aumentada uma vez que o número de partículas migrando para o tecido seria reduzida. Novamente o lado oposto também deve ser avaliado. Altas dosagens de floculante ou a escolha errada do peso molecular do mesmo poderia produzir efeitos catastróficos no desempenho da filtração, podendo até interromper totalmente a filtração devido ao entupimento dos poros do pano ou da torta pelas enormes moléculas do floculante. Malito⁸, 1998, reporta que para filtração sobre pressão certos floculantes de alto peso molecular, quando adicionados a ordem de partes por bilhão (ppb) são capazes de reduzir a taxa de filtração do licor do processo Bayer, conforme pode ser visto na figura 5. Neste caso, tanto a descarga da torta seria prejudicada (torta grudaria no pano) quanto a vida do tecido seria reduzida. Novamente a utilização de um coagulante poderia ser uma alternativa.

Na figura 4, observa-se ainda que a adição de um surfactante poderia reduzir a umidade final da torta para abaixo do estado pendular e também auxiliar na retirada da água intraflocular.

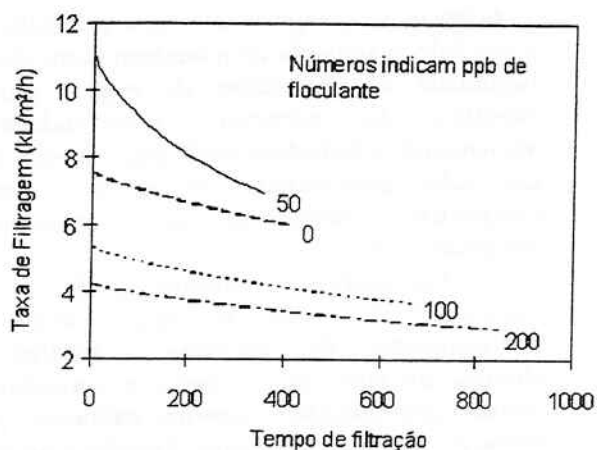


Figura 5 - efeito de adição de um flocculante a base de poliacrilato na filtragem de licor do processo Bayer, para várias dosagens de flocculante⁸.

A tabela 2 mostra a influência do raio capilar sobre a pressão capilar (ΔP), para um tensão superficial do filtrado conhecida e ângulo de contato também constante ($\cos\theta = 1$). Esta tabela também mostra a queda de pressão capilar que ocorre quando a tensão superficial do filtrado é reduzida para $\gamma_{LV} = 0.030 \text{ Nm}^{-1}$, pela adição de um surfactante.

Tabela 2 - Efeito do tamanho do poro da força de retenção capilar^{16, 17}.

Raio do Poro (μm)	Pressão Capilar (bar)	
	$\gamma_{LV}=0.073 \text{ Nm}^{-1}$	$\gamma_{LV} = 0.030 \text{ Nm}^{-1}$
30	0.05	0.02
15	0.10	0.04
5	0.30	0.12
4	0.38	0.16
3	0.50	0.2
2	0.75	0.31
1	1.50	0.62

Filtros industriais usualmente operam entre 0,3 e 0,5 bar. Assim, para tortas de filtragem com tamanhos de poros relativamente grandes ($>15 \mu\text{m}$), a adição de um surfactante não seria necessária para afetar o desaguamento dos poros. O mesmo ocorrendo para tortas com o tamanho dos poros muito menores ($<1 \mu\text{m}$). É claro que os valores acima não devem ser considerados como absolutos,

mas apenas como uma referência, até por que não é o tamanho, mas a distribuição dos tamanhos dos poros que regem os cálculos acima^{9, 16}.

A tabela 3 dá exemplos de alguns surfactantes que tem sido utilizado com sucesso no desaguamento industrial para uma vasta gama de minerais.

Na tabela 4, estão ilustrados os resultados de um teste de desaguamento para triidrato de alumina utilizando-se surfactantes aniônicos, catiônicos e não-iônicos. Para essas três classes fica evidente que não existe nenhuma correlação direta entre a tensão superficial da água de lavagem e a umidade final da torta, indicando que outros fatores como $\cos\theta_{LS}$ devem ser considerados^{14, 16}.

Tabela 3 - Exemplos de aplicações de surfactantes¹⁶.

Sistema Mineral	Surfactante	Umidade(%)	
		Sem Surfactante	Com Surfactante
Carvão	Dodecil sulfato de sódio	18,7	10,9
	Cetil dodecil brometo de amônia	12,3	9,3
Triidrato de Alumina	Álcool etoxilado	9,3	4,4
Oxido de ferro	Cetil Trimetil brometo de amônia	18,2	15,4
Areia	Sulfossuccinato	10,2	8,2

A escolha do surfactante não deve simplesmente ser baseada em suas propriedades físicas e químicas, mas também nas dos minerais a serem desaguados. Em particular a carga das partículas (potencial zeta) e a área de superfície disponível representam um importante papel na extensão e na taxa de adsorção das moléculas do surfactante nas partículas. Uma redução na tensão superficial simultânea ao aumento do ângulo de contato são de importância fundamental no mecanismo de desaguamento. Uma adsorção muito excessiva de surfactante nas partículas irá agir de maneira a remover as moléculas de surfactante do filtrado, aumentando, desta forma, a tensão superficial e reduzindo a eficiência de desaguamento conforme observado na literatura e constatado na prática^{5, 10, 14, 15, 16, 17}.

No caso particular do beneficiamento da bauxita, partículas de triidrato de alumina podem ter sua carga de superfície relacionada ao material

orgânico que ocorre naturalmente ou é produzido nas etapas anteriores do processo^{10, 14, 16, 28}. Esses orgânicos são conhecidos como componentes húmicos e têm demonstrado um importante efeito sobre as propriedades de superfície que por sua vez afetam tanto a eficiência de desaguamento quanto a de flotação.

Tabela 4 - Umidade residual do triidrato de alumina lavado com surfactantes aniônicos, não-iônicos e catiônicos a 100 ppm^{14, 16}.

Surfactante Utilizado	Umidade Residual (%)	Tensão superficial da água de lavagem (mN m ⁻¹)
Branco (água de lavagem)	9,3	72,0
A. Aniônico		
Dodecil sulfato de sódio	5,9	47,2
Dodecil benzeno sulfonato de sódio	7,4	33,0
B. Catiônico		
Cetil trimetil Brometo de Amônio	7,4	38,6
Cloreto etoxilado de cocoamonio	8,4	41,0
C. Não-iônico		
Álcool etoxilado de coco (N=4)	6,0	29,4
Álcool etoxilado de coco (N=8)	5,0	30,3
Álcool etoxilado de coco (N=11.5)	4,4	32,0
Álcool etoxilado de coco (N=16)	6,5	40,2

No exemplo da tabela 4, os surfactantes não-iônicos foram os que melhor desempenho tiveram sobre o desaguamento de triidrato de alumina¹⁴. Parece haver um número ótimo de unidade etóxi que conduzem ao máximo desaguamento.

Considerando-se uma molécula etoxilada típica, R-O(EO)_n-OH, onde R representa a cadeia alquil hidrofóbica, -(EO)- representa a unidade etóxi hidrofílica e, n, o número de unidades que pode-se variar para se controlar as propriedades de atividade na superfície, solubilidade e propriedades de adsorção da molécula. O valor de n proporcionaria efeitos competitivos no processo de desaguamento, sendo o mais aparente desses o fato de que aumentando-se n, γ_{LA} também aumentaria e

a eficiência de desaguamento seria reduzida. Por outro lado, o aumento de n também aumentaria a habilidade do surfactante de migrar para a superfície das partículas, adsorvendo-se e aumentando a hidrofobicidade (θ_{LS}). Assim, para um valor intermediário de n, esses efeitos competitivos produzem um condição ótima para o desaguamento¹⁴.

Em interessante trabalho publicado por Putock et al¹⁸, 1986, o comportamento do desaguamento sobre amostras de triidrato de alumina foi estudado. A figura 6 apresenta as curvas determinadas experimentalmente para tortas de filtragem de quando lavadas com água pura (curva I, $\gamma = 0,073$ Nm⁻¹) e com 100 ppm (0,01%) de surfactante aniônico (curva II, $\gamma = 0,033$ Nm⁻¹) juntamente com pontos de desaturação calculados a partir medidas de porosidade realizadas com um porosímetro de mercúrio, e da equação (12), assumindo-se $\cos\theta = 1$. É visível que os valores calculados estão de acordo com os experimentais. Estes resultados indicam que houve apenas uma pequena adsorção do surfactante na superfície das partículas. Uma adsorção teria aumentando o ângulo de contato, θ_{LS} , ou a tensão superficial, γ_{LV} .

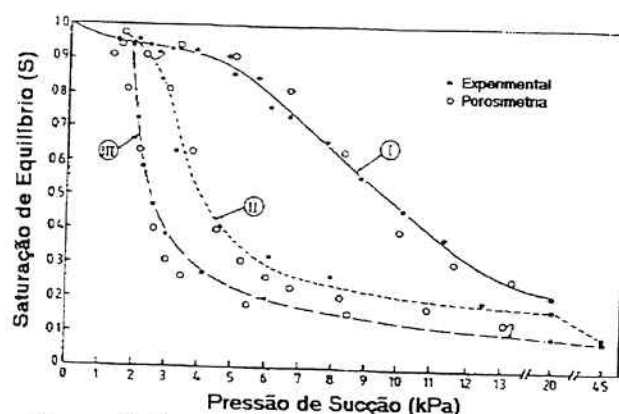


Figura 6 - Funções de pressão capilar (símbolos fechados = experimental; aberto = porosímetro). Curva I, água de lavagem, $\gamma = 0,073$, assumido $\theta = 0^\circ$; curva II, 100 ppm SDBS, $\gamma = 0,033$, assumido $\theta = 0^\circ$; curva III, 400 ppm SDBS, $\gamma = 0,029$, assumido $\theta = 50^\circ$ ¹⁸.

Em trabalho anterior¹⁴ os autores já haviam constatado que aumentado-se a dosagem de surfactante aniônico de dosagens moderadas para elevadas, um redução significativa da umidade era obtida, embora a tensão superficial da água de lavagem permanecesse praticamente constante. Este efeito é visto novamente na curva III da figura 27 para a torta de filtragem lavada com uma concentração mais alta do surfactante

aniônico (0,04%) e $\gamma = 0,029 \text{ Nm}^{-1}$. O redução de saturação observada pode ser contabilizada considerando-se um aumento no ângulo de contato de 0 para 50°, na equação (12). Isto sugere que quando a dosagem do surfactante é aumentada de 0,01% (curva II) para 0,04% (curva III), ocorre adsorção significativa.

A figura 7 mostra função de pressão capilar para a amostra A (curva X, $\gamma = 0,073 \text{ Nm}^{-1}$ e $\cos\theta = 1$) conforme apresentada anteriormente na figura 6, comparada com uma curva de uma amostra onde fora adicionado óleo hidrofóbico a polpa, antes da formação da torta (curva Y). Uma boa previsão da curva pode ser obtida a partir dos dados do porosímetro de mercúrio, quando o ângulo de contato é igual a 60°, assumindo-se $\gamma = 0,073 \text{ Nm}^{-1}$.

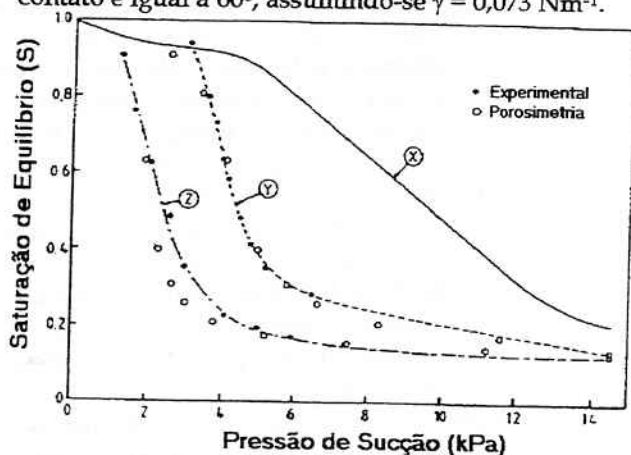


Figura 7 - função de pressão capilar (símbolos fechados = experimental; abertos = porosímetro). Curva X, água de lavagem, $\gamma = 0,073$, assumido $\theta = 0^\circ$; curva Y, 1% de óleo na polpa, $\gamma = 0,073$, assumido $\theta = 60^\circ$; curva Z, 1% de óleo na polpa, 100 ppm SDBS na água de lavagem, $\gamma = 0,033$, assumido $\theta = 60^\circ$.

Ainda na figura 7, está apresentada a função de pressão capilar (curva Z) gerada quando adicionou-se óleo a polpa antes da filtragem e em seguida lavou-se a torta com água na qual fora adicionado surfactante aniônico ($\gamma = 0,033 \text{ Nm}^{-1}$), ao invés de água pura. Neste caso, observa-se um melhor desempenho na extração de água. Os valores calculados com base nos valores de $\gamma = 0,033 \text{ Nm}^{-1}$ e $\theta = 60^\circ$ estão em muito boa concordância com os valores experimentais.

5. Considerações Finais

Após a apresentação das informações teóricas, é importante colocar algumas considerações que assumem caráter conclusivo.

- Surfactantes reduzem a umidade da torta de filtragem porque são capazes de abaixar a tensão

superficial do líquido e com isso reduzem a pressão capilar facilitando, desta forma, a retirada de água pela ação do vácuo. Além disso os surfactantes são capazes de se adsorver na interface sólido/líquido modificando o seu ângulo de contato. Quando um sólido for naturalmente hidrofílico, um aumento sua hidrofobicidade ($\theta > 0$) sempre favorecerá a remoção de água pelo vácuo.

- Os agentes agregantes (floculantes e coagulantes) aumentam a taxa de filtração do líquido porque reduzem a resistência específica média da torta (α), o que deixa a mesma mais permeável.
- Agentes agregantes aumentam a taxa de filtragem do sólido (torta de filtragem).
- Surfactantes, por facilitarem a retirada de água também aumentam a taxa de filtragem do líquido. Além disso, esses são capazes de alterar o equilíbrio de saturação, retirando a água além do limite de desagumamento. Já os agentes agregantes agem apenas sobre a cinética de desagumamento.
- As equações propostas pela teoria de filtragem mostram-se bastante efetivas no modelamento deste processo bem como na avaliação de desempenho de aditivos químicos.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CLEMENT, M.; BONJER, J. Investigation on mineral surfaces for improving the dewatering of slimes with polymer flocculants. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 11, Cagliari, 1975. Proceedings. Cagliari, Instituto di Arte Mineraria.
- (2) COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F. Chemical engineering. New York. McGraw-Hill, 1954. p.387-413: Flow of fluids through granular beds and packed columns.
- (3) DA SILVA, C.E.; MOREIRA, M.F.D.; PEREIRA, L.G.E.; REIS, M.P. Reduction of moisture content in MRN bauxite, by treatment with dewatering aid. In TMS ANNUAL MEETING, Orlando, Florida, 1997. S.n.t. /Reprint R-669. Nalco Chemical Company/
- (4) DULLIEN, F.A.L. Porous media. Fluid transport and pore structure. New York, Academic Press, 1979.
- (5) FOX, D.J.; WAINWRIGHT, M.S.; FELL, C.J.D.; HO YUEN CHUAN; FANE, A.G.; ROBINS, R.G. The influence of the bayer liquor in the dewatering of

- alumina trihydrate. *International Journal of Mineral Processing*. v.23, p.85-92, 1988.
- (6) GRACE, H.P. Resistance and compressibility of filter cakes. *Chemical Engineering Progress*, v.49, n.6, p.303-18, June 1953.
- (7) LEWELLYN, M.E.; AVOTINS, P.V. Dewatering/filtering aids. In: SOMASUNDARAM, P. ; MOUDGIL, B.M., eds. *Reagents in mineral technology*. New York, Marcel Dekker, 1988. p.559-78. (Surfactant Science Series, 27)
- (8) MALITO, J.T. Improving the operation of red mud filters. *Light Metals*. P.81-6, 1996. /Apresentado ao Annual Meeting, Anaheim, Cal, 1996
- (9) MURA, I.; BUCALOSSI, G.; DIMAS, P.A.; MALITO, J.T. Improving the filtration of alumina trihydrate at Eurallumina. In: TMS ANNUAL MEETING, San Antonio, Texas, 1998. S.n.t. /Reprint R-699. *Nalco Chemical Company*/
- (10) NICOL, S.K. The effect of surfactants on the dewatering of fine coal. *Proceedings. Australasian Institute of mining and metallurgy*, n. 260, p.37-44, Dec. 1976.
- (11) NICOL, S.K.; DAY, J.C.; SWANSON, A. R. Oil assisted dewatering of fine coal. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FINE PARTICLES PROCESSING, Las Vegas, 1980. *Fine particles processing: proceedings*. New York, time, 1980. v.2, cap.83, p.1661-75.
- (12) PEARSE, M.J.; ALLEN, A.P.; The use of flocculants and surfactants in the filtration of mineral slurries. *Filtration & Separation*, p.22-7, Jan/Feb 1983.
- (13) PERASE, M.J. Use of flocculants and surfactants for the solid-liquid separation in mineral processing and extractive metallurgy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINERAL PROCESSING AND EXTRACTIVE METALLURGY, Papua, 1984. S.n.t. /Separata/
- (14) PUTTOCK, S.J., FANE, A.G.; FELL, C.J.D.; ROBINS, R.G.;WAINWRIGHT, M.S. Improved dewatering of alumina trihydrate. In: THE AUSTRALIAN CHEMICAL ENGINEERING CONFERENCE, 12. Melbourne, 1984. *Proceedings*. S.n.t. p.277-84.
- (15) PUTTOCK, S.J., FANE, A.G.; FELL, C.J.D.; ROBINS, R.G.;WAINWRIGHT, M.S. Role of surface effects in the dewatering of alumina trihydrate. *AIChE Journal*, v.27, n.7, p.1213-16, 1985.
- (16) PUTTOCK, S.J.; WAINWRIGHT, M.S. Role of surfactants and particle characteristics in the dewatering of minerals. *Chemical Engineering in Australia*. v.CHE9, n.4, p.31-4, Dec. 1984.
- (17) PUTTOCK, S.J.; WAINWRIGHT, M.S.; McALLISTER, J.W.; FANE, A.G.; FELL, C.D.J.; ROBINS, R.G. Characterization and dewatering of australian alumina trihydrate. *International Journal of Mineral Processing*, v.16, p.263-79, 1986.
- (18) PUTTOCK, S.J.; FANE, A.G.; FELL, C.J.D.; ROBINS, R.G.; WAINWRIGHT, M.S. Vacuum filtration and dewatering of alumina trihydrate - the role of cake porosity and interfacial phenomena. *International Journal of Mineral Processing*, v.17, p.205-24, 1986.
- (19) RICHARDSON, P.F.; CONNELLY, L.J. Industrial coagulants and flocculants. In: SOMASUNDARAM, P. ; MOUDGIL, B.M., eds. *Reagents in mineral technology*. New York, Marcel Dekker, 1988. p.519-58. (Surfactant Science Series, 27)
- (20) ROSEN, M.J. Surfactants and interfacial phenomena. 2.ed. New York, John Wiley, 1989. Cap.1, p.3-7: General structural features and behavior of surfactants
- (21) ROSEN, M.J. Surfactants and interfacial phenomena. 2.ed. New York, John Wiley, 1989. Cap.5, p.207-39: Reduction of surface and interfacial tension by surfactants
- (22) ROSEN, M.J. Surfactants and interfacial phenomena. 2.ed. New York, John Wiley, 1989. Cap.6, p.240-75: Wetting and its modification by surfactants.
- (23) ROW, R.W.; CAVALET, J.R. Fine coal dewatering. In: ANUAL MEETING OF THE AMERICAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGICAL AND PETROLEUM ENGINEERS,133. Los Angeles, California, 1984. S.n.t. /Separata/
- (24) SILVERBLATT, C.E.; DAHLSTROM, D.A. Moisture content of a fine-coal filter cake: effect of viscosity and surface tension. *Industrial and Engineering Chemistry*, v.46, n.6, p.1201-7, June 1954.

- (25) STROH, G.; STAHL, W. Basics of surfactant aided dewatering in mineral processing. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 17. , Dresden, 1991. Preprints. Freiberg, Polygraphischer Bereich, 1991. v.3, p.287-300.
- (26) SVAROVSKY, L. Solid-liquid separation processes and technology. Amsterdam, Elsevier, 1995.
- (27) TILLER, F.M. The role of porosity in filtration: numerical methods for constant pressure filtration based on Kozeny's law. Chemical Engineering Progress, v.49, n.9, p. 467-79, Sept. 1953
- (28) WAINWRIGHT, M.S.; FANE, A.G.; FELL, C.J.D.; ROBINS, R.G.; FOX, D.J. The role of surfactants adsorption in the improved dewatering of alumina trihydrate. Light Metals, p. 231-8, 1986.
- (29) WAKEMAN, R.J. Filtration, post treatment processes. Amsterdam, Elsevier, 1975.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Aluste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W_i , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maciços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maciço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN
- BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

- BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA
SALVADOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA
MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA
- BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominuição Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE
SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO
CHAVES
- BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes
Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR
THEODORO HENNIES
- BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO
VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas -
LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO
- BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI,
ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e
Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO
CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com
Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO
STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE
SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alveamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO
SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA,
EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE
CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI,
ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piiritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações
Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de
Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO
FUJIMURA
- BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de
Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE
SILVIO
- BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma -
Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO
CHAVES
- BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO
CHAVES

- BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamidoxima) - WALDEMARAVRITSCHER, LAURINDODESALLES LEALFILHO
- BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA
- BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafertil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO- LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANT'AGOSTINO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/074 - A Minerio-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e suas Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química - RICARDO ALVARES DE CAMPOS CORDEIRO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/075 - A Redução da Umidade de Minérios de Ferro com o Emprego de Microondas - FERNANDO LEOPOLDO VON KRÜGER, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/076 - Estimação de Parâmetros do Modelo Cinético de Moagem - CLÁUDIO FERNANDES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMC/077 - A Bauxita e a Indústria do Alumínio - JOSÉ CRUZ DO CARMO FLÔRES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMC/078 - Técnicas de Tratamento de Minérios para Reciclagem de Vidro - CLEUSA CRISTINA BUENO MARTHA DE SOUZA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/079 - Comparação entre Cylpebs e Bolas na Moagem Secundária da Samarco Mineração - JOAQUIM DONIZETTI DONDA, ANTONIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/080 - Calcários Dolomíticos da Região de Ouro Preto para usos na Metalurgia e como Rochas Ornamentais - MARCÍLIO DIAS DE CARVALHO, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/081 - Estudo de Reoxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/082 - Recuperação do Gálio Existente no Licor de Bayer de Poços de Caldas por Flotação Iônica: Estudo dos Coletores - ANA MARGARIDA MALHEIRO SANSÃO, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/083 - Contribuição ao Conhecimento de Argilas de Cuba - GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/084 - Determinação da Rugosidade da Superfície de Descontinuidades Rochosas - JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/085 - Serragens de Granitos para Fins Ornamentais - ANTONIO STELLIN JR
- BT/PMI/086 - Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

- BT/PMI/087 – Considerações sobre o Dimensionamento de Equipamentos de Carga e Transporte em Mineração a Céu Aberto – IESO DO COUTO COUTINHO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/088 – Tratamento do Minério de Transição de Cobre e Ouro de Igarapé Bahia, Carajás, PA – DACILDO RODRIGUES DE SOUZA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/089 – Variáveis que Interferem nos Problemas Ambientais Gerados Durante os Desmontes de Rochas – VALDIR COSTA E SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/090 – Caracterização Mineralógica do Minério de Cobre e Ouro Secundário de Igarapé Bahia – LUIS RODRIGUES ARMÔA GARCIA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/091 – O Topázio na Região de Ouro Preto: Minas do Vermelhão e Capão do Lana – JAIR MAZON JÚNIOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/092 – A Mineralização Aurífera de Fazenda Brasileiro – BA Aspectos Geológicos e Planejamento de Lavra – MARCO ANTONIO DE MORAES SILVA, HELMUT BORN
- BT/PMI/093 – Estudo dos Mecanismos de Adsorção em Meio Ácido dos Metais Chumbo e Zinco em uma Turfa de Jacaré – RJ – MARIA DIONÍSIA COSTA DOS SANTOS, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/094 – Cartografia de Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos no Município de Embu – RMSP – CÉLIA MARIA GARIBLADI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/095 – Revisão da Teoria para Projeto de Taludes Heterogêneos em Minas a Céu Aberto – FLÁVIO MOREIRA FERREIRA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/096 – Estratégias para Remediação de um Sítio Contaminada por Metais Pesados: Estudo de Caso – JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAUJO DOS ANJOS, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/097 – Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará – FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/098 – Caracterização Mineralógica do Depósito de Terras no Complexo Alcalino – Carbonatítico de Barra do Itapirapua (SP/PR) – Área de Detalhe I – Maria de Lourdes Lorenzi, Henrique Kahn
- BT/PMI/099 – Considerações sobre a Seleção de Equipamentos para o Transporte de Minérios – ALEXANDRE DE SANT'ANNA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/100 – Desgaste Abrasivo em Britadores de Mandíbulas – NILSON MAR BARTALINI, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/101 – Viabilidade do Emprego de Finos de Basalto em Concreto Compactado a Rolo – KLEBER DA SILVA MENDES, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/102 – Sistema Especialista para o Processamento de Minérios de Ouro – VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/103 – Desenvolvimento de Eletrodos de Pasta de Carbono Modificados com a Resina Poliamidoxima (ES-346) para a Determinação Potenciométrica de Gálio – MARCO ROGÉRIO BARRIOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/104 – Desenvolvimento de Processo para o Aproveitamento do Feldspato Contido em Finos de Pedreira de Nefelina Sienito – PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/105 – Os Recursos Minerais e a Economia Internacional: Uma Reavaliação das Teorias – FRANCISCO REGO CHEVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/106 – Importância dos Aspectos Geológico-Geotécnicos em Obras Implantadas na Serra do Mar – Uma Metodologia de Manutenção Preventiva – ORIOVALDO CUNHA MARTINEZ, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/107 – Lixiviação e Adsorção em Fazenda Brasileiro – CVRD: Uma Questão de Produtividade – ÁUREA MARIA DIAS GOMES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/108 – Análise Quantitativas por Difração de Raios-X em Engenharia Mineral – Aplicação dos Métodos de Rietveld e do Padrão Interno – GABRIELA CAMPOS FRONZAGLIA, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/109 – Avaliação das Principais Causas de Acidentes em Barragens de Contenção de Rejeitos Devido a Fatores Geológicos e Geotécnicos – FERNANDO IVAN VÁSQUEZ ARNEZ, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/110 – Problemas Relacionados a Tensões Naturais Durante a Lavra de Rochas Ornamentais – HUGO ANTONIO MERCONCHINI VEGA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/111 – Sistemas de Classificação na Análise da Estabilidade de Taludes em Maciços Brandos – ANDREA CRISTINA Y. DE MATTOS, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/112 – Metodologia para Amostragem de Material Particulado em Suspensão (MPS) – IVO TORRES DE ALMEIDA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/113 – Viabilização da Recuperação de Ouro de Minério Primário por Lixiviação em Pilha Mediante o uso de Britadores não Convencionais: Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Mina de Almas-Paiol, TO – SALOMÃO SOLINO EVELIN, ARTHUR PINTO CHAVES

