
EFEITO DE ELEMENTOS NÃO PROCESSÁVEIS (Si, Mg, Al, P) E DREGS NA DRENABILIDADE DA LAMA DE CAL

EFFECT OF NON-PROCESSABLE ELEMENTS (SI, MG, AL, P) AND DREGS ON LIME MUD DRAINABILITY

Valter Celestino Contessoto¹

Alfredo Mokfienski²

José Lívio Gomide²

Marcelo Moreira da Costa²

Cassiano Rodrigues de Oliveira³

Cláudio Mudadu Silva²

Resumo – O presente trabalho estudou os efeitos dos elementos silício, magnésio, alumínio, fósforo e contaminantes dregs e ajustou equações de regressão que descrevem individualmente o seu impacto no desempenho de drenabilidade da camada de lama de cal. Experimentos utilizaram uma amostra de lama de cal na qual foram misturados os contaminantes objetos do estudo. O dregs foi obtido nos tanques de dregs da Fibria®-Jacareí. Como fontes de alumínio, magnésio, silício e fósforo, foram utilizados respectivamente sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), sulfato de magnésio ($MgSO_4$), silicato de sódio (Na_2SiO_3) e hidrogenofosfato dissódico (Na_2HPO_4). Ajustes de equações de regressão apresentaram coeficientes de correlação linear (R^2) sempre superiores a 80,7%. A presença de dregs não gerou diferença significativa na drenabilidade da lama, o elemento fósforo gerou uma perda inicial na drenabilidade, mas relativamente pequena quando comparado com os efeitos observados pelos elementos Al, Si e Mg. O elemento alumínio causou perda de drenabilidade da lama de cal apenas em concentrações acima de 0,6%; os elementos silício e magnésio, em função das suas características de reação com a água, tiveram um efeito negativo mais significativo na drenabilidade da lama de cal. As equações ajustadas possibilitaram estimar o aumento de consumo de combustível em função das concentrações dos elementos, indicando grande perda com o silício e magnésio.

Palavras-chave: Lama de cal; Drenabilidade; Elementos não processáveis; Regressão estatística.

¹ Rodovia General Euryale de Jesus Zerbine, s/n - São Silvestre, Jacareí - SP, CEP 12340-010.

² Laboratório De Celulose E Papel - UFV – Universidade Federal de Viçosa - Rodovia MG-280 - Campus da UFV - Viçosa - MG - CEP 36570-900.

³ Centro de Tecnologia em Produtos e Processos Sustentáveis - Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas - UFV – Universidade Federal de Viçosa - Rodovia MG-230, km 08, s/n - Campus Rio Paranaíba - Rio Paranaíba – MG - CEP 38810-000.

Abstract - The present study investigated the effects of silicon, magnesium, aluminum, phosphorus, and dregs contaminants, and fitted regression equations that individually describe their impact on the drainability performance of the lime mud layer. Experiments were conducted using a lime mud sample in which the target contaminants were mixed. Dregs was obtained from the dregs tanks at Fibria®-Jacareí. As sources of aluminum, magnesium, silicon, and phosphorus, aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), magnesium sulfate ($MgSO_4$), sodium silicate (Na_2SiO_3), and disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) were used, respectively. The fitted regression equations presented linear correlation coefficients (R^2) consistently higher than 80.7%. The presence of dregs did not result in significant differences in lime mud drainability. Phosphorus caused an initial reduction in drainability, although relatively small when compared to the effects observed for Al, Si, and Mg. Aluminum only caused a loss in lime mud drainability at concentrations above 0.6%, whereas silicon and magnesium, due to their reaction characteristics with water, had a more significant negative effect on lime mud drainability. The adjusted equations made it possible to estimate the increase in fuel consumption as a function of element concentrations, indicating major losses associated with silicon and magnesium.

Keywords: Lime mud; Drainability; Non-processable elements; Statistical regression.

I. INTRODUÇÃO

A recuperação química do licor de cozimento é fator preponderante no processo de polpação Kraft. Na recuperação química do licor, a calcinação, que converte a lama de cal ($CaCO_3$) em óxido de cálcio (CaO) é realizada no forno de cal. O bom desempenho desta conversão depende da qualidade da lama de cal enviada ao forno. Dentre as propriedades da lama de cal, a drenabilidade é um dos fatores mais importantes para o bom desempenho do processo. A baixa drenabilidade da lama de cal pode causar a limitação de produção do forno, o aumento de combustível e consequentemente o aumento de emissões atmosféricas (RIBEIRO et al., 2008).

A presença de elementos tais como silício, magnésio, alumínio, fósforo e impurezas, também conhecidos por elementos não-processuais (NPE's), podem alterar a drenabilidade da lama de cal (TRAN, 2007). Tais elementos estão presentes comumente como dregs, resíduo cinzento proveniente da clarificação do licor verde, por ocasião da remoção de impurezas (carbono, partículas de lama, hidróxidos e sulfetos de metais, além de outros elementos) (ALMEIDA et al., 2007). A presença de silício confere à lama uma maior capacidade de retenção de água, difícil de ser removida mecanicamente através dos equipamentos convencionais de filtro a vácuo. Tal efeito se deve provavelmente à formação de hidratos de silicato de cálcio ($xCaO.ySiO_2.zH_2O$ ou CSH), com características similares a géis (TRAN, 2007). Pouco se sabe dos efeitos dos demais elementos presentes na lama de cal na sua drenabilidade. Em condições extremas, o desaguamento da lama somente é possível com o uso de energia calorífica proveniente, por exemplo, dos gases do forno de cal. Por exemplo, em um estudo de caso, Ribeiro e colaboradores (2008) observaram um aumento de 8% no consumo de óleo combustível em função da queda de 10% no valor de sólidos na lama.

Estudos de aplicação de modelos matemáticos que relacionam elementos presentes na lama de cal com a sua drenabilidade são escassos, embora o efeito da presença de compostos como SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 já tenha sido reportado estudadas (ARPALAHTI, 1999). Não foi encontrado na literatura um procedimento padrão para se obter valores de drenabilidade da lama de cal. As empresas detentoras de tecnologia de filtração utilizam metodologias e equipamentos próprios para determinação da drenabilidade. No presente trabalho utilizou-se material e metodologia adotadas por tais empresas, embora não sejam métodos padronizados.

A sílica contém grupos silanóis altamente reativos e com grande capacidade de hidratação. A água de hidratação bloqueia os grupos silanóis, e só é removida sob a ação de uma fonte de

energia na forma de calor (Prado e Faria, 2005), gerando perda considerável na drenabilidade da lama de cal contaminada com sílica.

O magnésio na forma de óxido de magnésio (MgO) reage rapidamente com água gerando uma camada de hidróxido de magnésio (Mg(OH)₂) na superfície das partículas (Salomão et al., 2006). A água que reage com o magnésio somente é removida por calcinação em forno de cal, impactando no resultado da drenabilidade. Em estudo realizado (RIBEIRO et al., 2008) não foi encontrada correlação do magnésio com a drenabilidade, embora esta perda seja reconhecida com base na experiência de profissionais do setor.

O alumínio e o fósforo foram escolhidos para objeto deste estudo por sua presença habitual na lama de cal, embora estes elementos não sejam considerados importantes para a drenabilidade em concentrações comumente encontradas nos filtros de lama das indústrias de celulose (RIBEIRO et al., 2008).

Impurezas de dregs geralmente causam coloração verde na lama e gerando redução na filtrabilidade da mesma. Em estudo realizado por Ribeiro e colaboradores (2008) relatou-se que o alto teor de dregs é gerador de baixos teores de sólidos na lama. Um dos fatores que poderia causar esta baixa filtrabilidade dos dregs seria o tamanho das partículas, normalmente inferiores a 30 µm (PINTO, 2005).

O desenvolvimento de modelos estatísticos que descrevem o comportamento da presença de certos elementos na drenabilidade da cal pode se tornar uma importante ferramenta para os operadores e especialistas de plantas de caustificação de fábricas de celulose Kraft.

A ferramenta será capaz de auxiliar na tomada de decisão de manter em operação um filtro de licor verde que está gerando o dobro de sólidos (em função de furo na tela) ou esperar o momento de redução da planta sem perda de produção de celulose. Esta ferramenta pode também auxiliar na compra de cal de mercado, ou seja, impor parâmetros de qualidade que podem interferir no processo.

Este trabalho tem por objetivo estudar os efeitos da presença do silício, magnésio, alumínio, fósforo e dregs na drenabilidade da camada de lama de cal e propor modelos estatísticos do impacto destes contaminantes na filtração e que possam ser utilizados na operação plantas de recuperação química kraft, capazes de melhorar a previsibilidade de impactos negativos ao processo.

II. METODOLOGIA

1. Planejamento Experimental

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análises da empresa Fibria® no período de Agosto de 2009 a Julho de 2010. Estudou-se o efeito de cada elemento Si, Mg, Al, P e contaminantes de dregs na drenabilidade da lama de cal. Coletou-se lama de cal nos filtros rotativos a vácuo da empresa Fibria®- unidade Jacaré e realizou-se a caracterização medindo-se os valores de concentração de Si, Mg e Al. Posteriormente, adicionou-se na lama de cal distintas quantidades dos elementos, Si, Mg, Al, P e dregs para se obter as curvas de adição-padrão desejadas. As lamelas de cal com as devidas misturas foram submetidas a um processo de filtração, conforme procedimento analítico adotado pelos fornecedores dos filtros do processo de caustificação. Determinou-se o teor de sólidos secos nas amostras para determinar o comportamento da drenabilidade das amostras. A Tabela 1 mostra o planejamento experimental com as concentrações dos elementos testados.

TABELA 1 – Planejamento experimental com as concentrações testadas

Teste	Si (%)	Mg (%)	Al (%)	P (%)	Dregs (%)
1	0,15	0,27	0,09	0,00	0,20
2	0,23	0,34	0,13	0,01	3,00
3	0,27	0,57	0,20	1,35	5,00
4	0,39	0,60	0,26	5,11	10,00
5	0,75	0,71	0,73	9,34	
6	0,77	0,91	0,89		

A Figura 1 apresenta um fluxograma definindo os pontos de geração das amostras estudadas, no processo de recuperação do licor branco da unidade Fibria® de Jacaré. Em destaque, temos o ponto de coleta das amostras após o filtro de lama, os elementos adicionados e os pontos onde entram no processo. Na figura não foram simbolizadas as entradas dos elementos Si, Mg, Al e P oriundos da madeira, mas estes elementos estarão presentes no dregs. Naquela unidade de recuperação, observam-se como possíveis principais fontes de contaminante a cal virgem e o retorno ao processo de lama estocada.

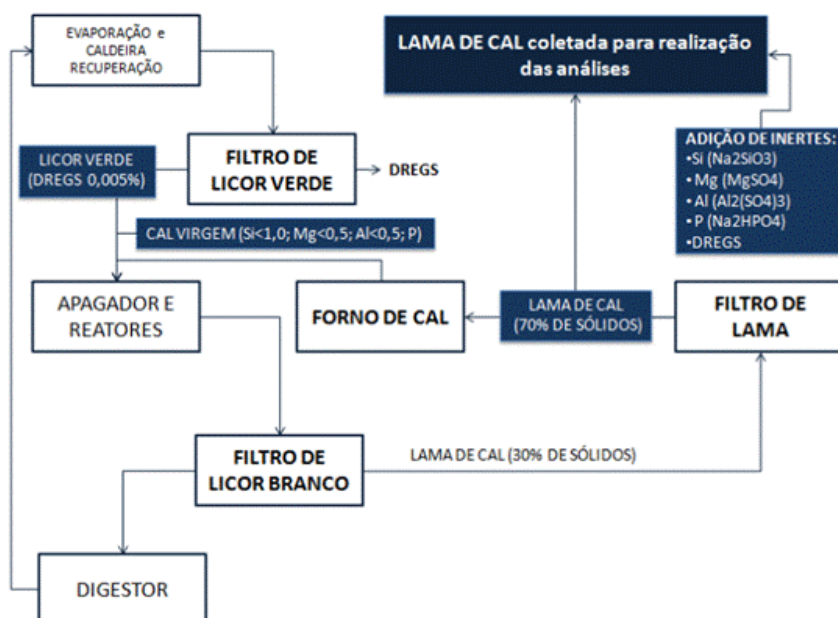


FIGURA 1. Fluxograma do processo de recuperação do licor branco

2. Preparação das amostras

A lama de cal foi coletada em amostragem simples de 30 kg na correia de alimentação do filtro de lama.

Para adição dos elementos Si, Mg, Al e P na lama de cal foram usados os seguintes produtos pela ordem, Na_2SiO_3 - silicato de sódio, estável em soluções neutras e alcalinas, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – sulfato de magnésio heptahidratado, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – sulfato de alumínio decahidratado, Na_2HPO_4 - hidrogenofosfato dissódico é um sal na forma de pó branco altamente higroscópico e solúvel em água e seu ponto de fusão é de 240°C.

Para a preparação das amostras com contaminante dregs foi coletada lama de cal em amostragem simples de 30 kg na correia de alimentação do filtro de lama.

Para o dregs, que foi utilizado como contaminante, foi realizada amostragem composta por 24h, na bomba de envio de dregs para os filtros de dregs. As amostras foram secas em estufa e misturadas para uso em todas as análises realizadas com dregs.

Para realizar a medição do tempo de filtração, principal indicador de drenabilidade da lama de cal, foi utilizado o equipamento da Figura 2. O equipamento consiste de uma câmara com um cilindro escalonado acoplado na parte superior. No cilindro existe uma marca de início e fim de medição do tempo de drenagem, e possui entrada superior para adição da suspensão a ser filtrada e na base possibilita a colocação de papel filtro. O cilindro possui uma altura de 21cm e um volume de 400mL. As marcas de início e fim de drenagem dividem o cilindro em 3 partes de 7 cm.

A câmara também possui instalado um vacuômetro, um bocal com válvula para acoplamento da bomba de vácuo, uma saída de drenagem com válvula e uma saída de descarte com plug.

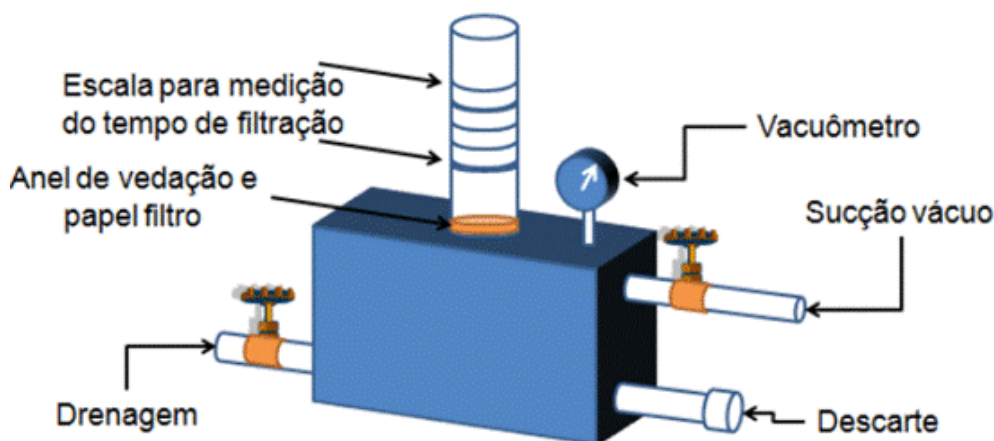


FIGURA 2. Equipamento usado para realização da filtração de lama de cal

Após a filtração foram realizadas as análises de sólidos secos e medidas as concentrações dos elementos utilizando absorção atômica e cromatografia de íons.

3. Procedimento experimental

O seguinte procedimento experimental foi realizado:

- i) Montou-se o equipamento de filtração e colocou-se papel de filtro quantitativo. Em seguida, o vácuo foi promovido mediante pressão negativa da ordem de 0,5 bar através da válvula, com saídas de descarte e de drenagem fechadas.
- ii) Pesou-se uma quantidade de lama suficiente para formar camada de espessura de 20 mm na superfície do filtro após a drenagem.
- iii) Adicionou-se 300 mL de água em temperatura ambiente, e uma quantidade de aditivo que fornecesse a porcentagem desejada do elemento contaminante a ser estudado.
- iv) Agitou-se a mistura e adicionou-se ao cilindro do sistema. A filtração iniciou-se automaticamente pela ação do vácuo. Aguardou-se que o nível do fluido chegasse à primeira marca (início de medição da drenagem) e acionou-se o cronômetro. Parou-se o cronômetro quando atingiu-se a segunda marca (final de medição da drenagem). Anotou-se este tempo de medição como tempo de drenagem.
- v) Aguardou-se o final da filtração e acionou-se novamente o cronômetro por mais 3 minutos, este tempo padrão tem por objetivo garantir a máxima drenagem da lama. Após esta etapa, determinou-se na amostra: teor sólidos secos (SCAN - N23:78) e teores de Si, Mg, Al e P foi por espectrometria de absorção atômica com chama, método “FAAS” (GERLACH e SCHWEITEZER, 1929).

4. Análise estatística

Para o estudo do efeito do contaminante dregs utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com no mínimo três repetições, variando de acordo com o parâmetro analisado. Para testar a hipótese de igualdade das médias dos tratamentos utilizou-se a análise de variância com o teste F ao nível de 5% de probabilidade. Para o estudo do efeito da Si, Mg, Al foi obtido apenas uma observação para cada nível destas variáveis. Utilizou-se análise de regressão e as equações ajustadas foram escolhidas com base no coeficiente de determinação R^2 .

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Caracterização da lama

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização da lama de cal sem adição de inertes e dregs utilizados neste estudo (teste em branco).

TABELA 2. Caracterização da lama e dregs (teste em branco)

Amostra	Si (%)	Mg (%)	Al (%)	P (%)
Lama de Cal com dregs	nd	0,45	0,05	
Lama de Cal com Si, Mg, Al e P	0,15	0,27	0,46	nd
Dregs usado como contaminante	0,22	5,60	0,92	

Observa-se que as concentrações estão muito próximas dos valores normalmente encontrados na lama de cal da Fibria® - unidade Jacaré. A não-detecção de silício na lama de cal com dregs pode estar relacionada ao período de coleta ser coincidente com o período de baixa adição (aproximadamente 2% do ciclo de cal) de cal de make-up. Em estudo de RIBEIRO et al. (2008)

amostras de lama de cal apresentaram 0,28% de silício. A utilização da lama de cal de referência, com baixa porcentagem do elemento em estudo, reduz a interferência nas medidas de teores, por inibir o efeito matriz, elevando a sensibilidade do método de determinação do elemento. O valor de concentração de magnésio nos dregs está acima do esperado (CARVALHO, 2002), porém este fato não gerou interferência nos ensaios.

2. Efeito dos contaminantes Si, Mg, Al e P no sólido da lama de cal

A variação do teor de sólidos da lama de cal em função de distintas concentrações de Si, Mg, Al e P é apresentada na FIGURA 3.

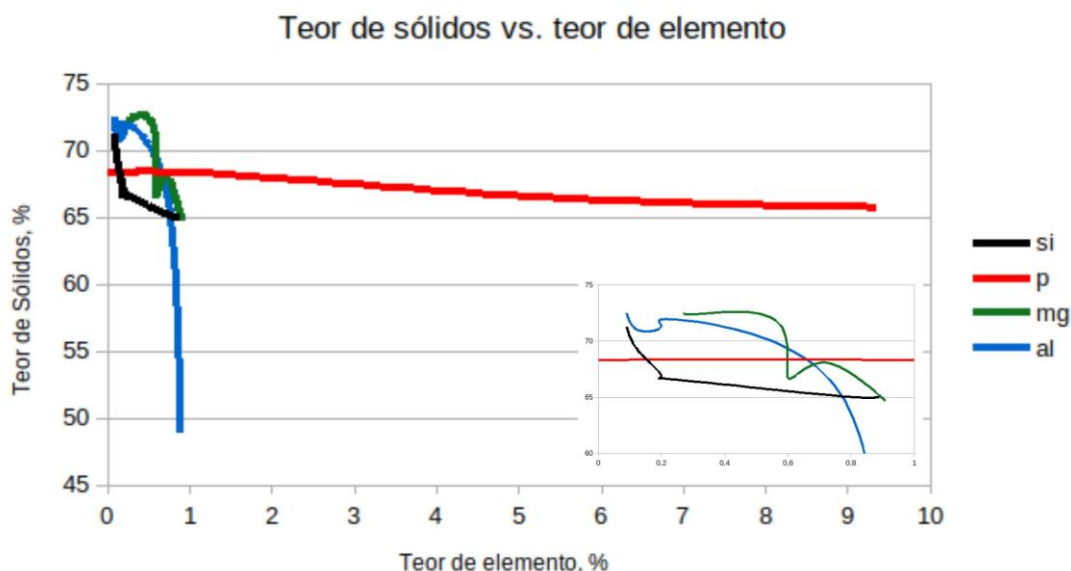


FIGURA 3. Variação do teor de sólidos em função da dosagem de elementos na lama de cal, com destaque para o intervalo de dosagem de 0 a 1%.

Pode-se observar que o teor de sólidos é inversamente proporcional ao teor de elementos na lama de cal. Entretanto as tendências variam conforme o elemento químico, resultando em diferentes relações de dependência entre o teor de sólidos e a dosagem de cada elemento químico na lama de cal.

As relações matemáticas do efeito de cada elemento químico no teor de sólidos são descritas abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Sólidos na Lama}(\%) &= -7,731 \cdot \text{Si}(\%) + 70,612 \\ R^2 &= 74,9\% \end{aligned} \quad (1)$$

A Equação 1 representa o modelo linear estimado da influência do teor de silício no teor de sólidos da lama de cal, a partir dos dados experimentais. Até 0,30% de silício o teor de sólidos da lama de cal sofre queda abrupta nos valores observados e posteriormente tende a suavizar a redução que, na prática, é esperado (ARPALAHTI, 1999). O aumento da concentração de íons de silício no meio pode gerar perda no teor de sólidos devido à formação de sais solúveis, a partir de silicatos (SiO_4^{4-}).

$$\begin{aligned} \text{Sólidos na Lama}(\%) &= -12,527 \cdot \text{Mg}(\%) + 76,427 \\ R^2 &= 79,9\% \end{aligned} \quad (2)$$

A Equação 2 representa um modelo linear proposto para o efeito do Mg na queda do teor de sólidos da lama de cal, que explica 79,9% dos dados experimentais em todo intervalo estudado. A presença de magnésio influencia na redução do teor de sólidos devido à possibilidade de formação de hidróxidos solúveis em água (SALOMÃO et al., 2006). Esta correlação nem

sempre é considerável (RIBEIRO et al.,2008) pois a formação dos hidróxidos é dependente do pH.

$$\begin{aligned}\text{Sólidos na Lama (\%)} &= -23,076 \cdot \text{Al(\%)} + 75,853 \\ R^2 &= 73,8\%\end{aligned}\quad (3)$$

A Equação 3 delinea o modelo linear proposto para o efeito do Al, que explica 73,8% dos dados experimentais. Inicialmente há leve tendência de aumento no teor de sólidos e queda acentuada a partir de 0,3% de Al.

O efeito observado pode estar relacionado com a possível geração de hidrotalcita ($\text{Mg}_{(1-x)}\text{Al}_x(\text{OH})_2(\text{CO}_3^{2-}) \cdot (x/2)\text{H}_2\text{O}$, em que $0,10 < x < 0,34$). Este composto tem melhor drenabilidade, em comparação com a lama original, devido à predominante formação de hidróxido de alumínio, responsável pela queda acentuada do valor de sólidos.

$$\begin{aligned}\text{Sólidos na Lama (\%)} &= -0,319 \cdot \text{P(\%)} + 68,509 \\ R^2 &= 95,9\%\end{aligned}\quad (4)$$

A Equação 4 é um modelo linear proposto para o efeito do teor de fósforo na lama de cal, na que explica 95,9% da variação do teor sólidos. Após o valor de 1,35% de fósforo, a curva mantém tendência de queda de sólidos, porém não são esperados valores tão altos daquele elemento em amostras de lama, a partir de dados históricos típicos da Unidade de Produção Suzano® - Jacaré e valores apresentados em estudo RIBEIRO et al., 2008.

3. Efeito dos contaminantes Si, Mg, Al e P no tempo de drenagem da lama de cal

O tempo de drenagem foi medido em função do teor de NPE's incorporados na lama de cal, conforme mostrado na Figura 4 a seguir.

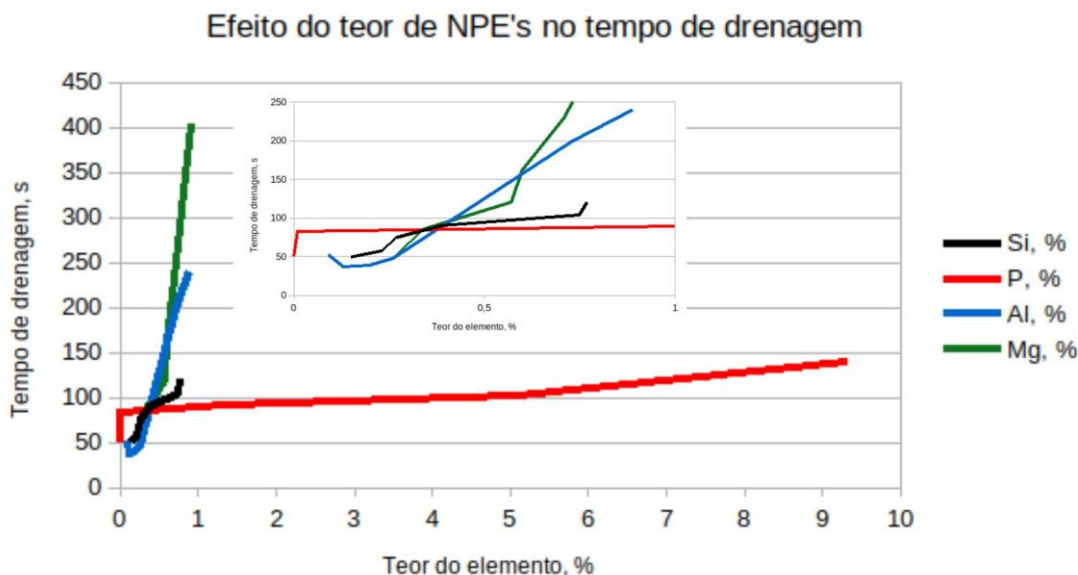


Figura 4. Influência do teor de NPE's no tempo de drenagem da lama de cal

Pode-se observar que o teor de NPE's em geral diminui a drenabilidade da lama de cal, sendo que para uma mesma concentração de todos os contaminantes, o silício apresentou maior impacto no tempo de drenagem.

As tendências de aumento do tempo de drenagem foram então modeladas conforme o que nos apresentam as equações 5 a 8 a seguir.

$$\text{Tempo de Drenagem(\%)} = 96,305 \cdot (\%) \text{Si} + 41,410 \quad (5)$$

$$R^2 = 83,3\%$$

$$\text{Tempo de Drenagem}(\%) = 510,648 * (\%) \text{Mg} - 114,034 \quad (6)$$

$$R^2 = 89,3\%$$

$$\text{Tempo de Drenagem}(\%) = 265,679 * (\%) \text{Al} + 0,490 \quad (7)$$

$$R^2 = 96,4\%$$

$$\text{Tempo de Drenagem}(\%) = 7,368 * (\%) \text{P} + 69,504 \quad (8)$$

$$R^2 = 83,3\%$$

Observa-se que a perda mais significativa ocorre em teores abaixo de 1% de NPE's na lama de cal, exceto para o fósforo, que apresentou com leve efeito no tempo de drenagem mesmo acima de 8% de dosagem. Estes teores utilizados nos testes simulam situações reais de acúmulo de NPE's em unidades fabris, demonstrando o efeito negativo do acúmulo de elementos não-processáveis no processo de recuperação química (TAYLOR, K. e MCGUFFIE, B., 2007).

4. Efeito dos dregs na drenabilidade da lama de cal

Os resultados de drenabilidade da lama de cal com distintas concentrações de dregs são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5: Resultados de sólidos na lama (DIC)

Repetições	1	2	3	Média
Sólidos com 0,2% Dregs (%)	53,43	53,27	54,04	53,58*
Sólidos com 3,0% Dregs (%)	54,49	53,78	53,82	54,03*
Sólidos com 5,0% Dregs (%)	56,44	60,67	54,22	53,11*
Sólidos com 10,0% Dregs (%)	54,54	53,91	55,36	54,61*

* Pelo resultado da ANOVA, o teste F foi não significativo ao nível de 5% de probabilidade. Não se rejeitou a hipótese de igualdade das médias.

Observa-se, pelas médias, que não houve variação significativa ($p < 0,05$) para o teor de sólidos na lama, mesmo com concentrações de dregs até 10%.

Portanto, pode-se afirmar que a redução do teor de sólidos da lama de cal não está diretamente relacionada à contaminação por dregs. Outros constituintes, como sílica ou magnésio, podem estar presentes nesta lama, gerando interações com a água livre e, consequentemente, impactando negativamente na drenagem.

5. Considerações Finais

A concentração de Si de 0,47% na lama de cal (equivalente a 1% como SiO_2), atualmente definida como limite máximo para a operação regular de fornos de cal, foi suficiente para reduzir 6% nos valores de sólidos na lama. RIBEIRO et al., 2008 indicam como valor real de perda, uma relação de aproximadamente 0,9% de aumento no consumo de óleo para queda de 1% no valor de sólidos da lama. Utilizando esta relação para os fornos da Fibria®-JAC que tem produção de 830 ton/dia de cal (equivalente a uma produção de 1.115.000 toneladas de celulose ano) tem-se um aumento de 7 toneladas no consumo de óleo combustível por dia.

Uma concentração de Mg na lama de 0,5% aumenta o consumo de óleo combustível em até 1,8 toneladas. Níveis de Al até 0,3% na lama não geram perda de sólidos, sendo um limite seguro

para a operação do forno de cal. Já o P em concentrações de 1% na lama aumenta em 0,4 toneladas o consumo de óleo combustível por dia.

Outro item a ser considerado é o impacto destes elementos no processo de calcinação, pois o aumento no combustível necessita de aumento de ar de combustão, somado aos vapores gerados pelo excesso de água na lama, levará o forno a limitação por tiragem.

A presença de dregs em até 10% não causou impactos na drenabilidade da lama de cal, embora tenha conferido uma cor verde acentuada à lama.

Vale destacar que este estudo não considera o efeito dos compostos inertes somados, apenas o efeito individual, sendo uma excelente proposta de tema futuro o estudo do efeito da mistura de elementos inertes na lama de cal.

IV. CONCLUSÃO

Os efeitos dos elementos sílica, magnésio, alumínio e fósforo geraram variação de drenabilidade quando comparados estatisticamente, as variações foram percebidos em tempo de drenagem e sólidos secos na lama. O efeito das impurezas de dregs não gerou diferença significativa de perda de sólidos com médias iguais estatisticamente.

Os principais efeitos observados foram a redução de 6% no valor de sólidos da lama e aumento de 2 vezes no tempo inicial de filtração pela variação de presença de silício em concentrações de 0,15% até 0,75%, outro efeito observado foi a redução de 8% no valor de sólidos da lama e aumento de 5 vezes no tempo inicial de filtração pela variação de presença de magnésio em concentrações de 0,27% até 0,87%, para o Al observou-se pequeno aumento da drenabilidade em valores até 0,3% seguido de grande perda de drenabilidade em concentrações maiores, para o P observou-se aumento de 0,5 vez no tempo de filtrabilidade em concentração de 0,01%, mas após esta concentração o aumento do tempo de filtração ficou inferior a 10%. Para a presença de dregs na lama foi observada a coloração verde intenso, mas nem concentrações de mais de 10% de dregs foram suficientes para causar impacto significativo de perda de sólidos, a variação máxima não atingiu diferença de 1,5%.

As equações de regressão ajustadas apresentaram boa correlação ($R^2 > 73,7\%$) e podem ser aplicadas para: prever impactos negativos no processo, auxiliar na tomada de decisão do operador em manter a filtração de licor verde com elevado teor de dregs operando até o momento ideal de redução sem perda de produção de celulose ou, até mesmo, decidir entre a utilização no processo de cal com elementos não processuais em teores mais altos. Os dados apresentados indicam que silício e magnésio como os principais contribuintes para a baixa filtrabilidade da lama de cal. Estes contaminantes são provenientes da cal de reposição do processo, indicando que o controle de qualidade da cal comercial e da purga do processo definem os teores limitantes dos NPE's.

V. REFERÊNCIAS

RIBEIRO, J. C. T.; SANTOS, S. M.; TRAN, H. Ocorrência de problemas com lama de cal de baixo teor de sólidos numa fábrica de polpa Kraft. O Papel, São Paulo, vol 69, n. 6, pág. 69-79, jun 2008.

TRAN, H. N.; Lime Kiln Chemistry and Effects on Kiln Operations. Tappi Kraft recovery course, St. Petersburg, FL, 2007.

ARPALAHTI, O.; White liquor Preparation. Papermaking Science and Technology book series, Book 6, Chemical pulping, Published by Fapey Oy, Helsinki Finland, in cooperation with TAPPI, pág.133-202, 1999.

PINTO, S. de J. F.; Valorização de resíduos da indústria da celulose na produção de agregados leves. Dissertação de Mestrado; Universidade de Aveiro, 2005.

PRADO, A. G. S.; FARIA, E. A.; Aplicação e modificação química da sílica gel obtida da areia. Química. Nova, Vol. 28, No. 3, 544-547, 2005.

SALOMÃO, R., BITTENCOURT, L. R. M., PANDOLFELLI, V. C., LUIZ, R. W., CARLOS, S., & ENSCH, P. L. Aspectos da hidratação de óxido de magnésio em formulações de concretos refratários (Aspects of magnesium oxide hydration in refractory castables compositions). Cerâmica, vol. 52, n. 322, pág. 146–150, 2006.

SALOMÃO, R., PANDOLFELLI, V. C., LUIZ, R. W., & CARLOS, S. Hidratação e desidratação de óxido de magnésio em concretos refratários (Magnesia sinter hydration-dehydration behavior in refractory castables). Cerâmica, vol. 54, n. 330, pág. 145–151, 2008.

GERLACH, W.; SCHWEITEZER, E.; Foundations and Methods of Chemical Analysis by Emission Spectrometry, Adam Hilger: London, 1929.

CARVALHO, A. G. M.; VALLE, C. F. do; GUERRINI, I. A.; CORRADINI, L.; A compostagem como processo catalisador para a reutilização dos resíduos de fábrica de celulose e papel. In: 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e papel. Associação Brasileira de Celulose e Papel. 2002.

TAYLOR, K. ; MCGUFFIE, B. Investigation of non-process element chemistry at Elk Falls Mill green liquor clarifier and lime cycle. Pulp & Paper Canada, vol. 108, n. 2, pág. 27-31, 2007.

ALMEIDA, H. C., BERTO, C., ERNANI, P. R., LUCIA, M., & ALMEIDA, D. Química Nova, vol. 30, n. 7, pág. 1669–1672, 2007.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.