

ASPECTOS DE ALGUNS REDUTORES UTILIZADOS NO ALVEJAMENTO DE CAULINS

Luz, A.B (1); Costa, L.S.N. (1); Chaves, A.P.(2)

(1) Centro de Tecnologia Mineral-CETEM / CNPq
Rua 4, Quadra D, Ilha do Fundão
21941-590 Rio de Janeiro, RJ - Brasil
E-MAIL: CTMALUZ@CETEM.ANRJ.BR

(2) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2.373
05508-900 São Paulo, SP - Brasil

ABSTRACT

Several aspects were studied, related to the bleaching operation on a kaolin from Morro do Felipe. The reductive bleaching of iron was carried out with three reagent systems, namely: sodium dithionite and aluminium sulphate; sulphur dioxide and aluminium powder and sulphur dioxide and zinc powder. Mineralogic studies on the ore had shown that the Morro do Felipe kaolin sample comprised: kaolinite, dickite, quartz, anathase, hematite, zircon and ilmenite. Magnetic separation had proved to be an important step prior to bleaching for this ore when characterization studies had been carried out. The systems $\text{SO}_2 + \text{Zn}$ and $\text{SO}_2 + \text{Al}$, proved to be more successful, since brightness of kaolin increased from 79.9% up to 87.5% ISO, close to the standards required by paper industry for coating applications.

Keywords: kaolin, filling, paper, pigment, coating

RESUMO

Foram investigados os aspectos relacionados com o alvejamento do caulim do Morro do Felipe, estudando-se a lixiviação redutora do ferro, com três sistemas diferentes de reagentes: ditionito de sódio + sulfato de alumínio; dióxido de enxofre + alumínio em pó e dióxido de enxofre + zinco em pó. Os estudos mineralógicos mostraram que o caulim do Morro do Felipe é constituído por: caulinita, dickita, quartzo, anatásio, hematita, zircão e ilmenita. Segundo indicou a caracterização mineralógica, a separação magnética mostrou-se indispensável ao beneficiamento do caulim do Morro do Felipe. Os sistemas de redução mais eficientes foram $\text{SO}_2 + \text{Zn}$ e $\text{SO}_2 + \text{Al}$, onde foi possível elevar a alvura do caulim de 79,9% para 87,5% ISO, próximo dos valores requeridos para a indústria de cobertura de papel.

Palavras-chave: caulim, carga, papel, pigmento, cobertura.

INTRODUÇÃO

O caulim é um mineral industrial com uma gama de aplicações muito diversificada. O segmento industrial em que os produtos de seu beneficiamento encontram melhor preço no mercado é a indústria papelreira, segundo WATSON [1]. Depósitos de caulim há muitos, em várias regiões do mundo. Poucos desses, porém, apresentam potencial para serem explorados em escala comercial, quando o mercado que se tem em vista é o de fabricação de papel.

Os principais produtores mundiais são os EUA (caulins secundários da Geórgia), a Grã-Bretanha (caulins primários da região de Cornwall), a ex-União Soviética (regiões da Criméia), o Brasil (principalmente caulins secundários no Amapá e Pará) e a Coréia conforme DAVID e CLARK [2], SILVA [3] e PRASADA *et al.*[4].

Em termos do processo de produção de papel, a mudança que vem se verificando, já há algum tempo, principalmente na Europa, no sentido da substituição da rota ácida de fabricação pela rota alcalina, propiciou a prática da substituição total ou parcial do caulim beneficiado pelo carbonato de cálcio moído ou precipitado, para aplicação tanto para carga como para cobertura. Em nosso país, no entanto, devido à disponibilidade de imensas reservas de caulins de boa qualidade, aliada à escassez de reservas de carbonato de cálcio adequado em termos de qualidade para substituir o caulim na fabricação de papel, esta tendência não tem sido tão acentuada. Assim sendo, o caulim ainda é o mineral mais importante para a fabricação de papel, mormente em se tratando de matéria-prima para cobertura.

O beneficiamento de caulim para a indústria de papel obedece sempre à rota úmida, já que o mineral *in natura* nunca atende aos requisitos da indústria e o beneficiamento a seco pouco altera as características originais do caulim. Segundo DAVID e CLARK[2] e LOUGHBROUGH [5], a rota úmida normalmente engloba dispersão, desareamento, centrifugação, separação magnética, alveamento e filtragem. O alveamento é a operação unitária que, normalmente, permite que se obtenha um produto que atenda às especificações da indústria papelreira para aplicações em carga ou cobertura, em termos de propriedades reológicas e, principalmente, de alvura, segundo MURRAY [6]. Em verdade, o preço alcançado pelo caulim beneficiado para a indústria de papel está intimamente ligado a seu valor de alvura segundo SÜSS [7].

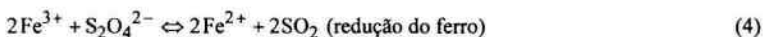
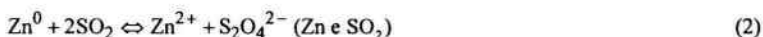
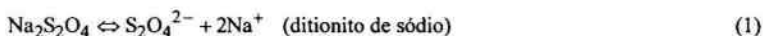
OBJETIVO

Estudar o desempenho da lixiviação do caulim do Morro do Felipe, com ditionito de sódio frente à lixiviação com ditionitos de zinco e alumínio, obtidos a partir da reação com SO_2 , no próprio reator onde se dá o alveamento. Para tal foram investigados os efeitos das

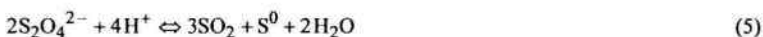
variáveis mais influentes no processo, tais como agente redutor, pH, tempo de lixiviação, floculante, porcentagem de sólidos da polpa e tempo de adição do SO_2 .

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O ânion ditionito ($\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$) é o agente redutor do ferro. Este ocorre no caulim nas formas divalente (Fe^{2+}) e trivalente (Fe^{3+}), ora livre ora na estrutura do argilomineral e é o principal causador do escurecimento no caulim, que tanto prejudica sua comercialização. O ditionito reage com o ferro trivalente, reduzindo-o à forma divalente, solúvel, e passível de ser retirado da massa de caulim por uma filtragem que se faz após o alveijamento. As reações de formação do ditionito, com os três sistemas estudados e a reação de redução do ferro, que é o objetivo do alveijamento, são mostradas a seguir:



Segundo VOGEL [8], o potencial redox desta última reação aumenta com o decréscimo do pH, ou seja, a reação é favorecida com tal decréscimo. Ao mesmo tempo, porém, ocorre que a estabilidade do ditionito diminui com pH baixo, podendo ocorrer as seguintes reações desfavoráveis:



O H_2S reage com o SO_2 remanescente, causando a precipitação do enxôfre:



Com o acima exposto, vê-se que há um equilíbrio delicado e que o valor ideal de pH é intermediário entre favorecer a reação de redução de Fe^{3+} (4) e evitar que ocorram as reações de precipitação do enxôfre.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma amostra global de 200 kg de um caulim de gênese secundária, proveniente de Laranjal do Jari, Estado do Amapá, no alvo denominado Morro do Felipe (Concessão da CADAM).

Da amostra global, retirou-se 50 kg sendo esta inicialmente espalhada sobre uma lona e deixada secar ao ar, em recinto coberto, por 24 h. A seguir foi feita uma desagregação da mesma sobre uma peneira fixa de 3,327 mm, seguida da distribuição e homogeneização em uma pilha cônica. Desta, foram retiradas alíquotas de 3 kg, ensacadas e arquivadas. Uma dessas alíquotas foi destinada aos estudos de caracterização mineralógica.

Os equipamentos e reagentes utilizados no presente trabalho foram:

- célula de flotação Denver D-12, com entrada de ar fechada, com cuba de 5 l;
- agitador Janke und Kunkel RW 20®, com variador de velocidade e leitura digital;
- série de peneiras Tyler;
- medidor de pH;
- fotômetro Elrepho® da Zeiss, com filtro de 457 nm, para medição de alvura ISO *;
- rotâmetro OMEL na faixa de 0 - 300 NI/h para medição do SO₂;
- regulador de pressão VICTOR, na faixa de 0 a 200 psi para SO₂
- balança de precisão Mettler;
- microscópio óptico Zeiss;
- separador magnético BOXMAG RAPID.

Foram empregados os seguintes reagentes:

- ditonito de sódio, grau comercial, BASF;
- zinco metálico em pó, grau comercial, Cia Paraibuna de Metais;
- alumínio metálico ATOMEX MG 306, em pó, grau comercial, Belgo Mineira;
- dióxido de enxôfre, gasoso, grau comercial, White Martins;

* Alvura ISO = Alvura TAPPI + 1,2.

- hexametáfosfato de sódio, grau comercial, BASF;
- sulfato de alumínio, grau comercial, VETEC;
- barrilha, pureza analítica, VETEC;
- ácidos clorídrico e sulfúrico, pureza analítica, VETEC.

O hexametáfosfato de sódio (solução 5%) é utilizado na dispersão do caulim. A barrilha (solução a 10%) e o ácido sulfúrico são usados como reguladores de pH, tanto na etapa de dispersão como no alveijamento do caulim, nos casos em que se era obrigado a controlar o pH. O sulfato de alumínio em pó é empregado para flocular a polpa, facilitando a filtragem que segue ao alveijamento. O ácido clorídrico foi utilizado para remover a capa oxidada da superfície do alumínio quando se utilizou este metal, de modo a não prejudicar a eficiência de sua reação.

O fluxograma de preparação das amostras e dos ensaios de beneficiamento encontra-se na Figura 1.

a) Dispersão:

O beneficiamento teve início com a dispersão em água de 0,5 kg de caulim, formando uma polpa com 40,0% de sólidos. O pH dessa foi elevado de 4,5 para 7,5 com adição de barrilha, seguido da adição do dispersante (2 kg/t). A seguir, submeteu-se a polpa a uma agitação de 800 rpm durante 2 h, em célula de flotação Denver com entrada de ar fechada.

b) Desareamento:

Obtido passando a polpa em peneira com abertura de 44 μm . A fração retida, constituída principalmente de quartzo, mica e caulim aglomerado, é descartada e a fração - 44 μm segue para a etapa de alveijamento.

Dependendo das impurezas na fração - 44 μm , esta poderá ser processada em separador magnético de alto gradiente, antes de ser alvejada, de modo a retirar os minerais de ferro e titânio, principais responsáveis pelos baixos índices de alvura dos caulins. O estudo de caracterização mineralógica realizado já havia demonstrado a necessidade de inclusão dessa etapa, para este caulim, de modo a se obter valores de alvura nos produtos do alveijamento que permitissem enquadrá-lo como matéria prima para cobertura de papel.

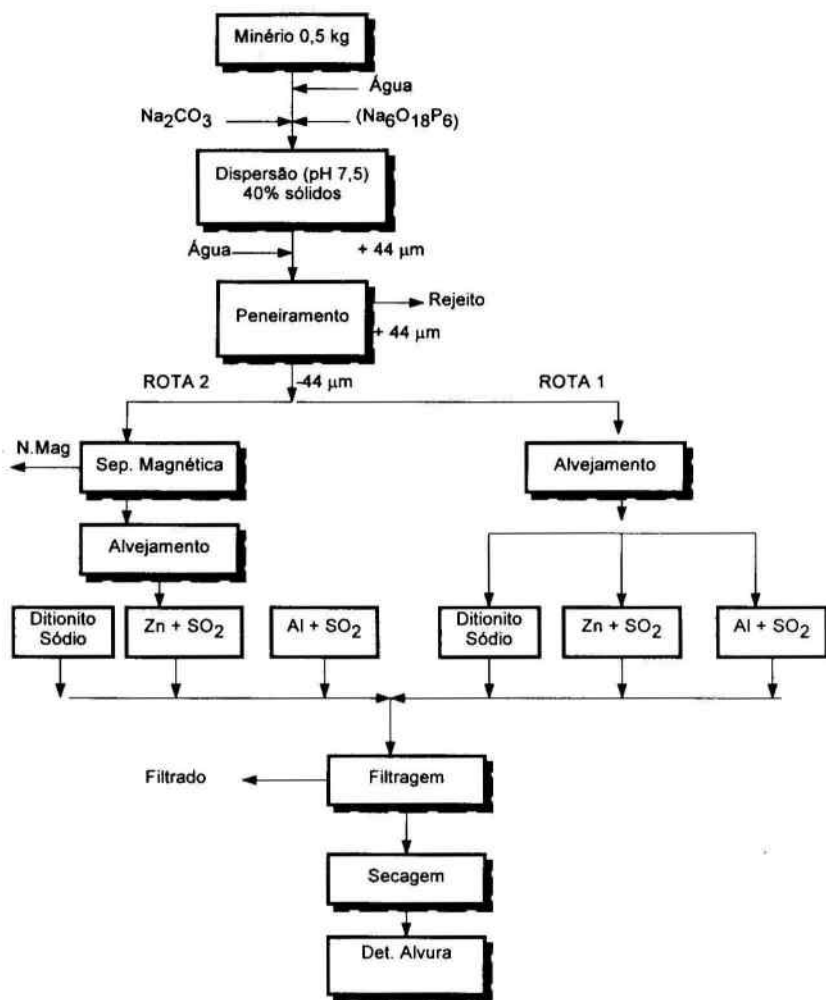


Figura 1 - Fluxograma utilizado nos estudos de beneficiamento do caulim do Morro do Felipe.

c) Alveijamento:

Para estudar o efeito das variáveis consideradas mais importantes no alveijamento deste caulim, foi feito um planejamento fatorial de quatro variáveis a dois níveis ($2^4 = 16$ ensaios), com as variáveis selecionadas a partir de ensaios exploratórios e da experiência do CETEM com o beneficiamento de caulins de diversas procedências. A resposta de cada ensaio, feito em duplicata, foi obtida medindo-se a alvura (ISO) do produto, depois de alveijado.

Os dados foram tratados através do algoritmo de YATES, analisando-se a significância das variáveis, a um grau de confiança de 95%, com a aplicação do teste "t" de Student.

c1) Alveijamento com Ditionito de Sódio

Foram programados dezesseis ensaios (duplicata) de alveijamento com ditionito de sódio. As quatro variáveis estudadas foram:

Variável	Nível mínimo	Nível máximo
pH	3	5
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (kg/t)	1	3,5
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (kg/t)	1	3
Tempo de alveijamento (min)	15	60

Em cada ensaio de alveijamento era usado um volume de polpa de 500 ml, proveniente do desareamento. A amostra era colocada em um bécher onde se media o pH da polpa e sua densidade. A partir desta, calculava-se a porcentagem de sólidos, a massa de caulim contida e as adições de reagente para cada ensaio.

A adição dos reagentes se iniciou com o sulfato de alumínio seguida da adição de ditionito de sódio (pó) e ajuste do pH com ácido sulfúrico para o valor desejado. Após a adição de todos os reagentes, agitava-se a polpa (230 rpm) pelo período de tempo estipulado para o alveijamento. Ao final, a polpa era filtrada, secada em estufa e determinada a alvura do produto.

c2) Alveijamento com Alumínio em Pó

Foram programados dezesseis ensaios (duplicata) de alveijamento com alumínio em pó + SO_2 . As quatro variáveis estudadas foram:

Variável	Nível mínimo	Nível máximo
Tempo de alvejamento (min)	15	60
Massa de Al (kg/t)	1,5	3,5
% de sólidos na polpa	10	20
Tempo de aplicação do SO ₂ (s)	5	10

O esquema de formação da polpa era idêntico ao adotado com ditionito de sódio. A adição de reagentes se iniciou com o borbulhamento de SO₂, nos períodos de tempo estabelecidos. A seguir, preparou-se uma mistura, em um bécher de 200 ml, constituída e adicionada na seqüência: Al + HCl + água. Agitou-se, lentamente, a mistura no bécher, por um período de 2 min, transferindo-se a seguir para a polpa de caulim.

Esse gás era aplicado a uma pressão de saída do regulador de 20 psi e com vazão controlada no rotâmetro em 120 NI/h. A temperatura ambiente era objeto de controle para efeito do cálculo do consumo de gás. O esquema de preparação do material após o alvejamento era idêntico ao do caso anterior.

c3) Alvejamento com Zinco em pó

Neste caso foram programados também dezesseis ensaios em duplicata e as quatro variáveis estudadas foram:

Variável	Nível mínimo	Nível máximo
Tempo de alvejamento (min)	15	60
Massa de Zn (kg/t)	1,5	3,5
% de sólidos na polpa	10	20
Tempo de aplicação do SO ₂ (s)	5	10

Tal como no caso anterior, primeiro se borbulhava o gás na polpa pelo período de tempo estipulado e a seguir, adicionava-se o pó de Zn com um pouco de água. Neste caso não havia a necessidade de desoxidar o metal, já que o Zn não oxida tão facilmente quanto o Al e não há interesse em baixar o pH além do nível já propiciado pela adição do SO₂. A temperatura ambiente era objeto de controle pelas mesmas razões já citadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Mineralógica

O caulim do Morro do Felipe apresentou um rendimento em 44 μm (325 malhas) de 78,45%. A análise microgranulométrica da fração abaixo de 44 μm apresentou 84% < 2 μm e 91% < 5 μm .

Foram realizadas análises químicas das frações - 44 μm e + 44 μm e, a partir destas, composta a análise do minério de caulim (Tabela I).

A partir da identificação dos minerais presentes no minério (microscopia óptica, difração de raios-X, DTA/DTG), bem como da análise química, foi determinada a composição mineralógica do minério (Tabela II).

Tabela I - Análises químicas do caulim do Morro do Felipe (% em peso).

Compostos	MF-01 (- 44 μm)	MF-02 (+ 44 μm)	Minério (head sample)
SiO ₂	46,6	54,6	48,5
Al ₂ O ₃	34,5	28,5	32,3
CaO	0,17	0,14	0,16
Fe ₂ O ₃	1,6	1,4	1,6
TiO ₂	1,3	1,3	1,3
MnO ₂	< 20*	< 20*	< 20*
MgO	920*	950*	930*
P.F.	14,3	11,6	13,7

* ppm

Tabela II- Composição mineralógica do minério de caulim do Morro do Felipe.

Mineral	% Peso
Caulinita	81,0
Quartzo	10,0
Anatásio/rutilo	1,4
Magnetita/hematita	1,6
Outros	6,0
Total	100,0

Ensaio de Alveamento

Os resultados dos ensaios de alveamento encontram-se nas Tabelas III, IV e V.

Tabela III - Resultados dos ensaios de alveamento com o caulim do Morro do Felipe usando ditionito de sódio.

Experimentos	(%)		Efeito	DM	Significância
	Alvura 1	Alvura 2			
(1)	81,3	81,8	T	+ 163,26	-
a	81,2	81,5	A	- 0,40	S
b	81,8	82,0	B	+ 0,21	N
ab	81,5	81,5	AB	+ 0,03	N
c	81,6	81,9	C	+ 0,04	N
ac	81,3	81,8	AC	0	N
bc	81,7	82,1	BC	+ 0,11	N
abc	81,4	82,2	ABC	+ 0,05	N
d	81,8	82,1	D	- 0,06	N
ad	81,2	81,6	AD	- 0,18	N
bd	81,7	82,0	BD	- 0,01	N
abd	80,9	81,9	ABD	+ 0,05	N
cd	81,8	81,6	CD	- 0,14	N
acd	80,6	81,3	ACD	- 0,08	N
bcd	81,8	82,3	BCD	+ 0,14	N
abcd	81,3	81,7	ABCD	- 0,03	N

fração - 44 µm sem alvejar = 79,9%(ISO)

As variáveis selecionadas e seus níveis de variação foram :

- pH (3,0 e 5,0);
- concentração de ditionito de sódio em kg/t (1,0 e 3,5);
- concentração de sulfato de alumínio em kg/t (1,0 e 3,0) e
- tempo de alveamento em min (15 e 60).

Tabela IV- Resultados dos ensaios de alveijamento com o caulim do Morro do Felipe usando dióxido de enxôfre e alumínio em pó.

Experimentos	Alvura 1	Alvura 2	Efeito	DM	Significância
(1)	80,7	80,5	T	165,98	-
a	80,4	80,2	A	- 0,44	S
b	82,2	82,3	B	+ 0,37	S
ab	81,5	81,3	AB	+ 0,02	N
c	84,3	84,5	C	+ 1,88	S
ac	84,1	84,1	AC	+ 0,36	S
bc	83,5	83,4	BC	- 1,13	S
abc	83,8	83,5	ABC	- 0,03	N
d	82,7	83,0	D	+ 0,94	S
ad	81,6	81,3	AD	- 0,13	S
bd	84,0	84,2	BD	+ 0,03	N
abd	83,6	83,3	ABD	+ 0,03	N
cd	84,3	84,3	CD	- 0,88	S
acd	84,4	84,5	ACD	+ 0,09	N
bcd	83,8	83,7	BCD	- 0,09	N
abcd	83,2	83,5	ABCD	- 0,29	S

fração - 44 μ m sem alvejar = 79,9 % (ISO)

As variáveis selecionadas e níveis de variação foram: a) tempo de alveijamento em min (15 e 60);

b) massa de Al em pó em kg/t (1,5 e 3,5);

c) porcentagem de sólidos na polpa em % (10 e 20) e

e) tempo de vazão fixa de SO₂ em segundos (5 e 10).

Tabela V- Resultados de alveijamento com o caulim do Morro do Felipe usando dióxido de enxofre e zinco metálico em pó.

Experimentos	Alvura 1	Alvura 2	Efeito	DM	Significância
(1)	81,0	80,9	T	162,91	-
a	80,6	80,8	A	-,073	S
b	82,1	81,8	B	- 0,04	N
ab	81,5	81,4	AB	- 0,25	S
c	82,8	82,5	C	+ 0,10	N
ac	81,8	81,8	AC	- 0,69	S
bc	83,9	83,6	BC	- 0,40	S
abc	80,8	81,1	ABC	- 0,11	N
d	81,3	81,5	D	- 0,64	S
ad	82,0	81,7	AD	+ 0,38	S
bd	81,4	81,4	BD	- 0,54	S
abd	81,4	81,7	ABD	+ 0,30	S
cd	81,7	82,0	CD	- 0,93	S
acd	80,6	80,6	ACD	+ 0,04	N
bcd	80,7	80,5	BCD	- 0,03	N
abcd	79,8	79,9	ABCD	+ 0,31	S

fração - 44 µm sem alvejar = 79,9 % (ISO)

As variáveis selecionadas e os níveis de variação foram: a) tempo de alveijamento em min (15 e 60);

b) massa de Zn em kg/t (1,5 e 3,5);

c) porcentagem de sólidos na polpa em % (10 e 20) e

d) tempo de aplicação de vazão fixa de SO₂ em segundos (5 e 10).

Estudo do Comportamento das Variáveis

A partir dos resultados do planejamento fatorial, que apontaram as variáveis e interações mais influentes no alvejamento do caulim do Morro do Felipe, foi feito um estudo do comportamento das variáveis, segundo um planejamento convencional de ensaios [9]. Em cada sistema de redutor estudado, o melhor resultado da série de ensaios foi usado na série seguinte. Para minimizar o número de ensaios, desprezavam as variáveis ou interações cujos valores absolutos de DM estivessem abaixo de 0,2 ou 0,4.

Estudo comparativo dos melhores resultados para o caulim do Morro do Felipe.

Selecionando os melhores resultados de alvura nos produtos alvejados para os três sistemas de alvejamento e para o caulim de Morro do Felipe chega-se à tabela VI:

Tabela VI -Melhores resultados de alvura para o caulim de Morro do Felipe usando os três sistemas de alvejamento e as séries de ensaios obedecendo ao planejamento fatorial e convencional.

Sistema de alvej.	Planej. fatorial	Planej. convenc.
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	82,3	81,1
$\text{SO}_2 + \text{Al}$	84,5	82,8
$\text{SO}_2 + \text{Zn}$	83,9	84,4

A alvura do material, antes do alvejamento, é sempre bom lembrar que era, em média, de 79,9. Analisando os valores acima percebe-se que os melhores resultados de alvura foram obtidos com o uso de SO_2 com Zn ou Al.

No entanto, se for levado em consideração que nenhum dos resultados acima excedeu ou sequer igualou a alvura de 88,0% (ISO), padrão mínimo para qualificar um caulim beneficiado para possível aplicação para cobertura de papel no que diz respeito à alvura, fica evidente que algo mais teria de ser tentado com este caulim para poder qualificá-lo para tal uso.

A solução natural, utilizada inclusive nas indústrias, é uma separação magnética a úmido, de alto gradiente, antes da operação de alvejamento. Esta operação remove parte substancial do ferro presente no caulim, em especial aquele que ocorre sob a forma de óxidos ou hidróxidos.

A separação magnética, a úmido, foi realizada em separador BOXMAG RAPID com campo de 14 kGs e matriz de lã de aço, com a fração granulométrica - 44,0 μm .

Resultados dos ensaios de alvejamento com a fração não magnética (a 14 kGs) do caulim do Morro do Felipe para as melhores condições dos ensaios anteriores

1) Sistema ditionito de sódio + sulfato de alumínio

Foram dois ensaios, o primeiro das melhores condições de alvejamento obtidas do planejamento convencional e o segundo das condições ótimas do planejamento fatorial. É bom lembrar que, com a separação magnética, a alimentação do alvejamento já passava de 79,9 para 84,6 . A tabela VII ilustra os melhores resultados de alvura para o caulim do Morro do Felipe com o sistema redutor acima e nas séries de ensaios planejadas fatorial e convencionalmente. Adicionalmente são mostrados os resultados obtidos quando o caulim foi ensaiado nas mesmas condições mas somente com a fração não-magnética.

Tabela VII -Melhores resultados do alvejamento de caulim de Morro do Felipe com ditionito de sódio e sulfato de alumínio em diferentes séries de ensaios.

Ensaio	Alvura P.C.	Alvura P.F.	Alvura ñ -mag.
A	81,1	-	84,6
B	-	82,3	85,5

- A) ensaio proveniente do planejamento convencional (P.C.): pH= 4,5 ; 1,0 kg/t de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$; 1 kg/t de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 15 min de alvejamento.
- B) ensaio proveniente do planejamento fatorial (P.F.) : pH=3,0 ; 3,5 kg/t de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$; 3 kg/t de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 60 min de alvejamento.

Da tabela acima verifica-se que o ensaio "A" não elevou a alvura da alimentação, ao passo que o ensaio "B" apresentou uma melhora que o colocou mais próximo da condição desejada, sugerindo que, para ser aproveitado com tal finalidade e para esse sistema de alvejamento, este caulim seja misturado com outros, de maior alvura.

2) Sistema SO_2 e alumínio metálico em pó

Foram realizados mais dois ensaios , novamente com os dois melhores resultados de alvura obtidos dos ensaios realizados segundo os dois métodos de planejamento. A tabela VIII abaixo ilustra os resultados.

Tabela VIII -Melhores resultados de alvura com o sistema SO_2 + Al obtidos nas duas séries planejadas de forma convencional e fatorial e, em condições idênticas após separação magnética prévia.

Ensaio	Alvura. P.C.	Alvura P.F.	Alv. ã-mag
A	82,8	-	87,2
B	-	84,5	85,1

A) ensaio do P.C.: 20% sólidos; 3,5 kg/t de Al ; 25 min de reação e 5 s de aplicação do SO_2

B) ensaio do P.F.: 20% sólidos; 1,5 kg/t de Al ; 60 min de reação e 10 s de SO_2

No primeiro ensaio já se observa a nítida diferença que fez a separação magnética prévia ao alveamento, onde o produto já atende aos quesitos de alvura para a indústria de papel. No segundo caso, houve um provável desbalanceamento entre as quantidades de gás (excesso) e Al (falta), com o que não se formou ditionito suficiente.

3) Sistema SO_2 e zinco metálico em pó

Aqui foram testadas três condições, duas das quais provenientes do planejamento convencional e uma do planejamento fatorial. A tabela IX contempla os resultados melhores obtidos nas duas séries de ensaios e sua repetição apenas com a fração não-magnética.

Tabela IX - Melhores resultados de alveamento obtidos com SO_2 e zinco metálico em pó nas duas séries de ensaios e sua repetição apenas com a fração não-magnética.

Ensaio	Alvura P.C.	Alvura P.F.	Alvura ã-mag
A	84,4	-	86,1
B	84,4	-	87,0
C	-	83,9	87,5

A) oriundo do P.C.: 5 s de SO_2 ; 1,5 kg/t de Zn ; 40 min de reação e 15% de sólidos na polpa

B) oriundo do P.C. : 10 s de SO_2 ; 3,5 kg/t de Zn ; 15 min de reação e 10% de sólidos na polpa.

C) oriundo do P.F. : 5 s de SO_2 ; 3,5 kg/t de Zn ; 15 min de reação e 20% de sólidos.

Da tabela acima, pode-se compreender a preferência de muitas indústrias por alvejar com Zn e não com Al. Todos os resultados colocam o caulim próximo da especificação de alvura para cobertura de papel e observou-se que a reação é extremamente rápida e muito dependente da quantidade de Zn adicionada [9].

6. CONCLUSÕES

O minério de caulim do Morro do Felipe apresentou como assembléia mineralógica: caulinita, dickita, quartzo, anatásio, hematita, zircão e ilmenita.

Dos três sistemas de redutor estudados (ditionito de sódio + sulfato de alumínio; SO_2 + Al metálico e SO_2 + Zn metálico) no alvejamento do caulim do Morro do Felipe, foi possível extrair as seguintes conclusões:

- a) A separação magnética seguida de alvejamento com o sistema ditionito de sódio + sulfato de alumínio, elevou a alvura do caulim de apenas 79,9% para 85,5% e portanto abaixo dos níveis requeridos para cobertura de papel (88%). Esses resultados confirmaram os estudos de caracterização mineralógica que identificaram Fe na estrutura da caulinita, como um obstáculo a ser vencido pelo processo de alvejamento.
- b) A separação magnética seguida de alvejamento, tanto com o sistema SO_2 + Al metálico quanto SO_2 + Zn metálico, elevou a alvura do caulim do Morro do Felipe de 79,9% para cerca de 87,5% e portanto muito próximo dos valores requeridos para cobertura de papel.
- c) Como já era de se esperar, no caso dos redutores formados no próprio reator de alvejamento, a partir da reação de SO_2 + Al ou SO_2 + Zn, a ação desses se mostrou mais eficaz do que o ditionito de sódio.
- d) Dos três sistemas de redutores estudados, o SO_2 + Zn se mostrou o mais eficaz, embora deva ficar evidente os problemas ambientais que poderão causar o Zn, por ser um metal com características propensa à bioacumulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) WATSON, I. Kaolin review. Industrial Minerals, n. 176, p.17-39, May 1982.
- 2) DAVID, A.; CLARK, A. Review of kaolin markets in the USA. Industrial Minerals, n. 176, p. 27-77, May 1982.
- 3) SILVA, S.P. Caulim, Sumário Mineral, Brasília, v. 11, p.32-33, 1991.
- 4) PRASADA, M.S., REID, K.J., H.H., MURRAY. Kaolin : processing properties and applications. Applied Clay Science, v.6, p. 87-119, Elsevier, 1991.
- 5) LOUGHBROUGH, R. European paint. Industrial Minerals, p. 39-49, Aug. 1993.
- 6) H.H., MURRAY. World Kaolins: diverse quality needs permit different resource types. In: Industrial Mineral International Congress, Boston, 1988, p. 127-130.
- 7) SÜSS, H.V. Bleaching. In: Uhlmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry, Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft, 1986, v. A4, p. 191-199.
- 8) VOGEL, A.I. Reações dos Anions, In: Química Analítica Quantitativa, São Paulo, cap.IV, p. 414-416, 1981.
- 9) LUZ, A.B.da. Beneficiamento de caulins do Rio Capim e do Rio Jari. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995. 151p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas.