

# **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

**Estudos de Caracterização Tecnológica e  
Beneficiamento do Caulim da Região Borborema-  
Seridó (RN)**

**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Luiz Inácio Lula da Silva**

**José Alencar Gomes da Silva**

Vice-Presidente

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**Sérgio Machado Rezende**

Ministro da Ciência e Tecnologia

**Luiz Antonio Rodrigues Elias**

Secretário-Executivo

**CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Adão Benvindo da Luz**

Diretor do CETEM

**Antônio Rodrigues Campos**

Coordenador de Apoio à Micro e Pequena Empresa

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais

**João Alves Sampaio**

Coordenador de Processos Minerais

**José da Silva Pessanha**

Coordenador de Administração

**Ronaldo Luiz Correa dos Santos**

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

**Zuleica Carmen Castilhos**

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

# **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

ISSN 1518-9155

ISBN 978-85-61121-39-6

**SRMI - 14**

## **Estudos de Caracterização Tecnológica e Beneficiamento do Caulim da Região Borborema-Seridó (RN)**

### **Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva**

Licenciada em Química – IQ/UFRJ, M.Sc. em Engenharia  
Metalúrgica e de Materiais – PEMM/COPPE/UFRJ e  
Doutoranda em Química – IQ/UFRJ

### **Flávio Teixeira da Silva**

Engenheiro Metalurgista e de Materiais – PEMM/UFRJ,  
M.Sc. e D.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
– PEMM/COPPE/UFRJ, Professor Adjunto - UFRJ

### **Adão Benvindo da Luz**

Engenheiro de Minas – UFPE, M.Sc. e D.Sc. em  
Engenharia Mineral – EPUSP, Pesquisador Titular do  
CETEM/MCT

### **João Alves Sampaio**

Engenheiro de Minas – UFPE, M.Sc. e D.Sc. em  
Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Pesquisador  
Titular do CETEM/ MCT

**CETEM/MCT**

2008

## **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

**Sílvia Cristina Alves França**

Editora

**Luiz Carlos Bertolino**

Subeditor

### **CONSELHO EDITORIAL**

Adriano Caranassios (CETEM), Antonio Rodrigues Campos (CETEM), Francisco Wilson Holanda Vidal (CETEM), Jurgen Schnellrath (CETEM), Salvador Luiz M. de Almeida (CETEM), Artur Pinto Chaves (USP), Benjamin Calvo Pérez (Universidade Politécnica de Madri), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Marsis Cabral Junior (IPT), Renato Ceminelli (Consultor).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos na área minero-metalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas**

Coordenação Editorial

**Vera Lúcia Espírito Santo Souza**

Programação Visual

**Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva**

Edição Eletrônica

---

Estudos de caracterização tecnológica e beneficiamento do caulim da Região Borborema-Seridó (RN) / Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM, 2008.

27p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 14)

1. Caulim. 2. Beneficiamento de minério. 3. Minerais industriais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Silva, Fernanda Arruda N. G. III. Silva, Flávio Teixeira. IV. Luz, Adão Benvido. V. Sampaio, João Alves. VI. Série

## SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1   INTRODUÇÃO	9
1.1   O Caulim da Região Borborema-Seridó	9
2   OBJETIVO	12
3   MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1   Amostragem	13
3.2   Beneficiamento	13
3.3   Técnicas de Caracterização	13
4   RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1   Análise do Tamanho de Partícula	15
4.2   Determinação da Área Superficial	17
4.3   Separação Magnética	17
4.4   Alvejamento Químico	18
4.5   Análise Química por Absorção Atômica (AA)	19
4.6   Análise por Difração de Raios-X (DRX)	21
4.7   Espectroscopia no Infravermelho (IV)	22
4.8   Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	24
4.9   Determinação da Viscosidade da Polpa	26
4.10   Determinação da Opacidade	27
5   CONCLUSÃO	29
6   REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30



## RESUMO

Neste trabalho foram realizados estudos de caracterização tecnológica e beneficiamento do caulim da região Borborema-Seridó (RN). A amostra bruta foi caracterizada por absorção atômica, difração de raios-X, espectroscopia de infravermelho, microscopia eletrônica de varredura, ressonância paramagnética eletrônica e submetida à classificação granulométrica. Foram realizados estudos de separação magnética e alveamento químico com a fração abaixo de 37  $\mu\text{m}$ . Esta fração e os produtos do beneficiamento foram caracterizados pelas mesmas técnicas usadas para a amostra bruta, acrescida de espectroscopia Mössbauer e medidas de tamanho de partícula, área superficial, viscosidade, alvura e opacidade. De acordo com os resultados da caracterização pode-se concluir que o caulim desta região é essencialmente caulínítico, pseudoplástico, tixotrópico, apresenta 50% das partículas com granulometria abaixo de 2  $\mu\text{m}$  e área superficial próxima a 9  $\text{m}^2/\text{g}$ . O teor de ferro no produto final foi 0,16% ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ ). Esses íons substituem o alumínio nos sítios octaédricos da caulinita. Os valores de alvura e opacidade encontrados para este produto foram 87,72 e 85,98% ISO, respectivamente. Os resultados confirmam a possibilidade do uso deste caulim nas indústrias de papel, tinta, cerâmica, entre outras.

### Palavras-chave

caulim, caracterização e beneficiamento

## **ABSTRACT**

Studies of technological characterization and beneficiation process were carried out to a kaolin sample from Borborema-Seridó region, Northeastern Brazil. The run of mine sample was characterized by atomic absorption and infrared spectroscopy, X-ray diffraction, scanning electronic microscopy, electron paramagnetic resonance and granulometric classification. To the granulometric fraction  $-37\ \mu\text{m}$  magnetic separation and bleaching steps were run aiming to remove the iron bearing minerals. This fraction and products were also analyzed by Mössbauer spectroscopy and determination of particle size distribution, surface area, viscosity, brightness and opacity. In accordance to the results of technological characterization, it is possible conclude that this kaolin is essentially caulinitic, pseudoplastic, tixotropic, particle size distribution shows 50% below  $2\ \mu\text{m}$  and a value to the surface area around  $9\ \text{m}^2/\text{g}$ . The iron content in the final product was 0.16% ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ ) and these ions substitute aluminum in the octahedric sites of the caulinite structure. The obtained value for bleaching and opacity were 87,72 and 85,98% ISO, respectively. These results confirm the possibility of application of this kaolin in the paper (filler and coating), paint and ceramic industries, among others.

### **Keywords**

Kaolin, characterization, beneficiation



## 1 | INTRODUÇÃO

O termo caulim é utilizado para denominar a rocha que contém a caulinita e também o produto resultante de seu beneficiamento. No passado, o caulim era conhecido como *china clay*, pois foi descoberto na região montanhosa de Jauchau Fu, na China. O nome caulim deriva da palavra chinesa *kauling*, que significa cume alto.

O caulim possui muitas aplicações industriais, de acordo com suas características, pode ser utilizado como pigmento, carga e cobertura na indústria de papel, matéria-prima para a indústria cerâmica (porcelana, azulejo, esmalte), matriz para catalisadores (craqueamento de petróleo e dispositivo para exaustão de gases em automóveis), isolante elétrico, agente fortalecedor de borrachas e concretos, cobertura digestiva de remédios (fármacos). Além disso, o caulim pode ser usado na fabricação de cimento branco, pesticidas, vidros, adesivos, cosméticos, plásticos (LUZ, 1998). O uso desse insumo mineral nos diferentes ramos industriais está relacionado às suas propriedades ópticas, mineralógicas e químicas.

Os caulins brasileiros podem ser divididos em cinco grupos: caulins sedimentares, caulins oriundos de pegmatitos, de rochas graníticas, de rochas vulcânicas e caulins derivados de anortosito.

### 1.1 | O Caulim da Região Borborema-Seridó

A província pegmatítica da região Borborema-Seridó localiza-se nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Na região Junco-Ecuador (RN/PB) ocorrem diversos depósitos de caulins associados à alteração de pegmatitos. Os pegmatitos

caulinitizados estão inseridos no Grupo Seridó de idade pré-cambriana e possuem grande variação de tamanho, podendo chegar a algumas dezenas de metros de largura (SILVA e DANTAS, 1997).

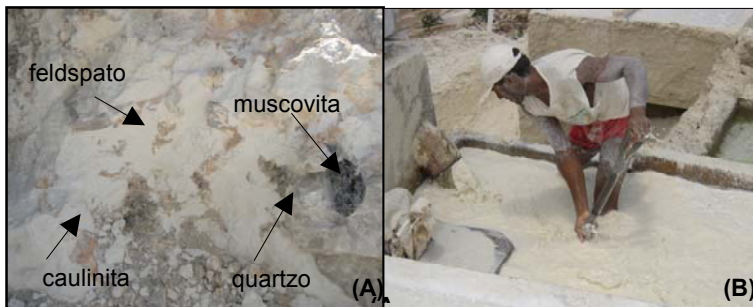
Normalmente os pegmatitos estão inseridos em rochas metamórficas e podem conter importantes minerais, como: columbita-tantalita, berilo, turmalina, feldspatos, entre outros. A maioria dos pegmatitos da região é bastante homogênea, mas ocasionalmente ocorre zoneamento. A caulinita forma-se pela alteração de feldspato-potássico dos pegmatitos.

Quando comparados com os caulins do Sudeste, os caulins da região Borborema-Seridó são de granulometria mais fina; a caulinita é o principal constituinte com seus cristais euédricos de perfil hexagonal, do tipo bem cristalizado e ausência de haloisita tubular (WILSON *et al.*, 1998).

Os pegmatitos possuem alguns sinais de uma fase anterior de alteração com formação de sericita esverdeada, sugerindo correlação a um evento hipogênico, com intemperismo transformando os feldspatos em caulinita. A circulação da água do lençol freático e as condições químicas locais também podem ter afetado o padrão observado nos caulins do Nordeste.

Os depósitos de caulins da província Borborema-Seridó são lavrados há bastante tempo, mas de maneira rudimentar e predatória, sem um estudo prévio das jazidas e das condições geológicas de formação dos depósitos. A ausência de conhecimento sobre a geologia dos depósitos da região e a aplicação de tecnologias de lavra e beneficiamento acarretam perdas significativas do minério.

A Figura 1A ilustra o caulim da região da região Borborema-Seridó associado aos minerais caulinita, muscovita e quartzo e a Figura 1B ilustra o beneficiamento, de forma rudimentar, deste caulim.



**Figura 1.** Em (A) caulim associado aos minerais caulinita, quartzo, muscovita e feldspato e em (B) beneficiamento do caulim de forma rudimentar.

## **2 | OBJETIVO**

A pesquisa teve por finalidade estudar o beneficiamento e a caracterização tecnológica do caulim da região Borborema-Seridó. Estes estudos visam o maior conhecimento das jazidas, do caulim propriamente dito, bem como seu comportamento físico e químico nas etapas de beneficiamento, para que se possa obter um produto com propriedades e/ou características que atendam às especificações de diferentes segmentos industriais.

## **3 | MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 | Amostragem**

Na primeira etapa dos trabalhos foi feita uma visita técnica às minas de caulim do Nordeste, especificamente, na região Borborema-Seridó. A finalidade da visita foi obter dados sobre o beneficiamento de caulim da região, bem como coletar amostras de caulim para realização do presente trabalho. Assim, foram coletados cerca de 200 kg de caulim na empresa Caulise S/A, na cidade de Equador (RN). A amostra, representativa da alimentação da usina, foi acondicionada em sacos de juta e enviada ao CETEM.

### **3.2 | Beneficiamento**

Para realização dos estudos de beneficiamento do caulim, tomou-se uma fração de 50 kg da amostra bruta e, por peneiramento a úmido, foi obtida a fração com granulometria abaixo de 37  $\mu\text{m}$ . Essa amostra foi utilizada em todos os estudos de caracterização e beneficiamento.

Os ensaios de beneficiamento constaram das seguintes etapas: classificação granulométrica, separação magnética a úmido de alta intensidade e alvejamento químico.

### **3.3 | Técnicas de Caracterização**

A amostra bruta de caulim foi submetida a uma caracterização química e mineralógica, usando várias técnicas, tais como: absorção atômica, espectroscopia no infravermelho, difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura.

A fração abaixo de 37  $\mu\text{m}$  e as frações obtidas nos ensaios de beneficiamento foram submetidas às mesmas técnicas de caracterização da amostra bruta acrescida de medidas de alvura e opacidade. A fração abaixo de 37  $\mu\text{m}$  foi também submetida à análise de tamanho de partícula (baseada nas Leis de Stokes e Mie), viscosidade e área superficial.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 | Análise de Tamanho de Partícula

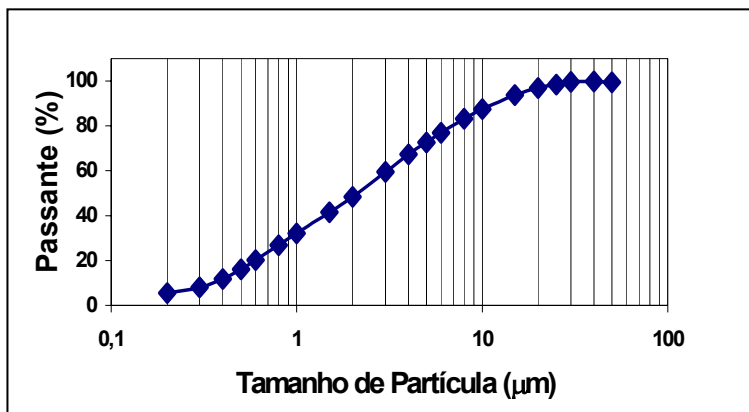
Os resultados de distribuição de tamanho de partícula da fração  $-37 \mu\text{m}$  foram obtidos por meio de duas técnicas diferentes: difração a laser e sedigrafia (sedimentação).

A curva de distribuição granulométrica obtida pela técnica de sedimentação, ilustrada na Figura 2, indica que 87% das partículas possuem tamanho abaixo de  $10 \mu\text{m}$ , 73% abaixo de  $5 \mu\text{m}$  e 48% estão abaixo de  $2 \mu\text{m}$ .

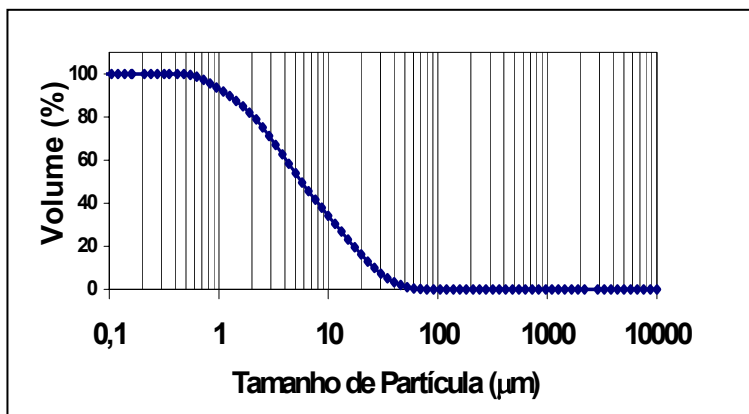
O exame dos resultados obtidos com a técnica de difração da luz, Figura 3, indica que 8% das partículas possuem tamanho próximo a  $26 \mu\text{m}$ , 50%,  $6 \mu\text{m}$  e 80%,  $2 \mu\text{m}$ .

As técnicas utilizadas diferem em resultados, uma vez que se baseiam em princípios físicos diferentes. A técnica que utiliza o equipamento *Sedigraph* baseia-se na lei de Stokes e determina o tamanho de partícula por meio da sedimentação. A técnica que utiliza o equipamento *Malvern* determina o volume das partículas por meio da difração da luz.

A indústria de papel utiliza os dados obtidos com a técnica sedimentação e a indústria de tinta, aqueles da técnica de difração da luz. O tamanho de partícula utilizado como padrão para o uso comercial na indústria de tinta e papel é de  $2 \mu\text{m}$ .



**Figura 2.** Curva de distribuição de tamanho de partícula do caulim (fração  $-37 \mu\text{m}$ ) obtida pela técnica de sedimentação.



**Figura 3.** Curva de distribuição de tamanho de partícula do caulim (fração  $-37 \mu\text{m}$ ) obtida pela técnica difração da luz.



## 4.2 | Determinação da Área Superficial

Um dos métodos mais comuns de determinação da área específica de um sólido baseia-se na determinação da quantidade de um adsorvato necessária para recobrir com uma monocamada a superfície de um adsorvente. Os adsorvatos, normalmente usados para esse fim são gases como nitrogênio, hélio e argônio (MIDDEA, 2004).

A área superficial encontrada para a amostra de caulim  $-37 \mu\text{m}$  foi  $9,8 \text{ m}^2/\text{g}$ . Este valor foi determinado segundo a Equação BET (Brunauer, Emmett e Teller) que se baseia na hipótese de que as forças responsáveis pela condensação do gás são também responsáveis pela atração de várias moléculas para a formação de multicamadas (MIDDEA, 2004).

Um caulim utilizado para cobertura de papel deve possuir área superficial entre 6 e  $22 \text{ m}^2/\text{g}$ .

## 4.3 | Separação Magnética

O ensaio de separação magnética foi realizado com o objetivo de promover melhoria na alvura do caulim, mediante a remoção de impurezas mineralógicas magnéticas e ricas em ferro, basicamente hematita e magnetita.

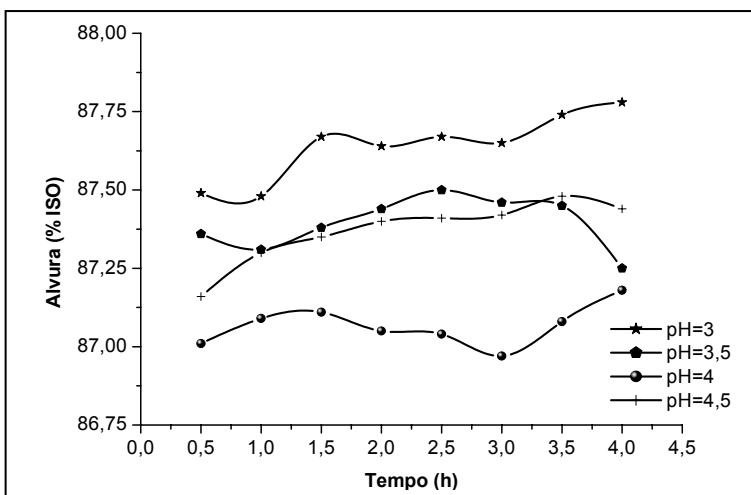
A Tabela 1 ilustra, de forma indireta, a eficiência da separação magnética por meio das medidas de alvura do caulim antes e após este processo. Como pode-se observar, o índice de alvura da fração não magnética aumentou apenas 0,44%, sinalizando para os baixos teores de magnetita na fração  $-37 \mu\text{m}$ . Tal fato pode estar relacionado à maior ocorrência de hematita, em comparação a magnetita, uma vez que a hematita possui baixa susceptibilidade magnética.

**Tabela 1.** Alvura do caulim antes e após a separação magnética.

Amostras	Alvura ISO
caulim -37 $\mu\text{m}$ (amostra total)	85,96
caulim -37 $\mu\text{m}$ (fração não magnética)	86,40

#### 4.4 | Alveamento Químico

Os ensaios de alveamento químico tiveram por finalidade a remoção de impurezas de ferro capazes de comprometer a alvura do caulim. Esses ensaios, conduzidos com a fração não magnética, consistiram na lixiviação ácida do óxido férrico em condições redutoras. A Figura 4 ilustra os resultados desses ensaios, cujos valores da alvura foram obtidos com base em alíquotas retiradas a cada 30 min.



**Figura 4.** Influência do tempo de condicionamento e do pH da polpa no índice de alvura do caulim.

A avaliação dos resultados da Figura 4 confirma que, após 2 h de condicionamento na faixa de pH de 3,0 a 4,5, não se observou aumento significativo no índice de alvura do caulim. O tempo recomendado para o processo de alveamento químico situa-se próximo a 2 h.

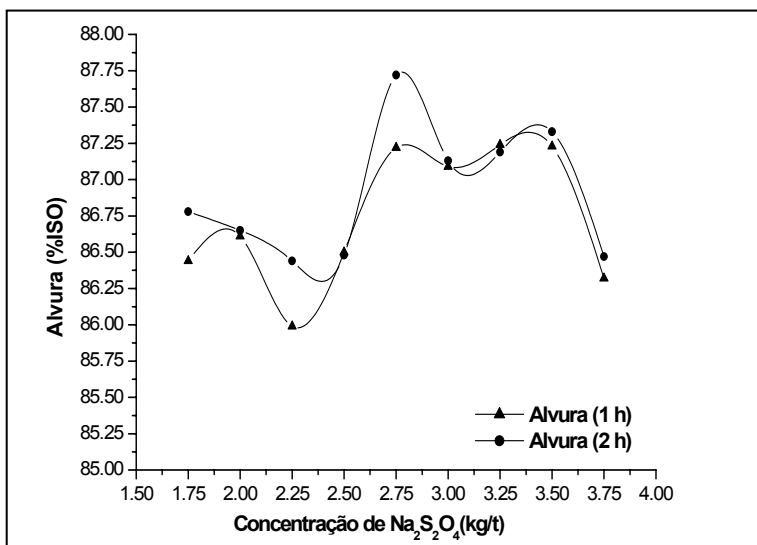
O consumo de 4 kg/t de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  pode ser considerado elevado, quando comparado aos dados industriais, normalmente em torno de 2,5 a 3 kg/t. Neste contexto, novos ensaios de alveamento químico foram realizados, de modo a avaliar a influência do teor do  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  no índice de alvura do caulim e reduzir os custos operacionais do processo. Conforme ilustrado na Figura 5, a concentração de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  variou de 1,75 a 3,75 kg/t e o valor de pH dos ensaios foi próximo a 3.

Segundo os resultados, Figura 5, pode-se observar que, na condição em que a concentração de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  foi 2,75 kg/t e o tempo de condicionamento da polpa 2 h, o valor da alvura encontrado foi 87,72% ISO. Esse resultado foi considerado satisfatório, uma vez que o consumo de reagente foi inferior quando comparado com os ensaios anteriores, Figura 4.

#### **4.5 | Análise Química por Absorção Atômica (AA)**

A amostra bruta, a fração  $-37 \mu\text{m}$ , o produto não magnético e o produto alveado (87,72% ISO) foram submetidos à análise química por espectroscopia de absorção atômica. A avaliação dos resultados, ilustrados na Tabela 2, indica que o caulim da região Borborema-Seridó é essencialmente caulínítico, já que a composição química encontrada para  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 45,9 e 39,2% respectivamente, se aproxima da composição química teórica da caulinita (46,54 e 39,50%) (WILSON, 2004).

Wilson (2004) comparou a composição química de caulim caulínítico (China), haloisítico (Inglaterra) e caulínítico/haloisítico (Nova Zelândia) e comprovou que o caulim haloisítico tem um teor maior de  $\text{SiO}_2$  (50%) e menor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (35%), quando comparado com caulim caulínítico.



**Figura 5.** Influência do tempo de condicionamento e da concentração de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  no índice de alvura do caulim.

Mediante os resultados de análise química de óxido de ferro, as etapas de beneficiamento, classificação granulométrica, separação magnética e alveamento químico, contribuíram para diminuir a quantidade de ferro contido no caulim.

**Tabela 2.** Resultados da análise química por espectroscopia de absorção atômica, para amostra de caulim bruto e seus produtos.

Óxidos	(%)			
	Amostra Bruta	Fração -37 $\mu\text{m}$	Não Magnética	87,72% ISO
SiO <sub>2</sub>	67,25	51,60	45,9	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,21	36,32	39,2	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	0,60	0,26	0,22	0,16

\* Teor de ferro convertido a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### 4.6 | Análise por Difração de Raios-X (DRX)

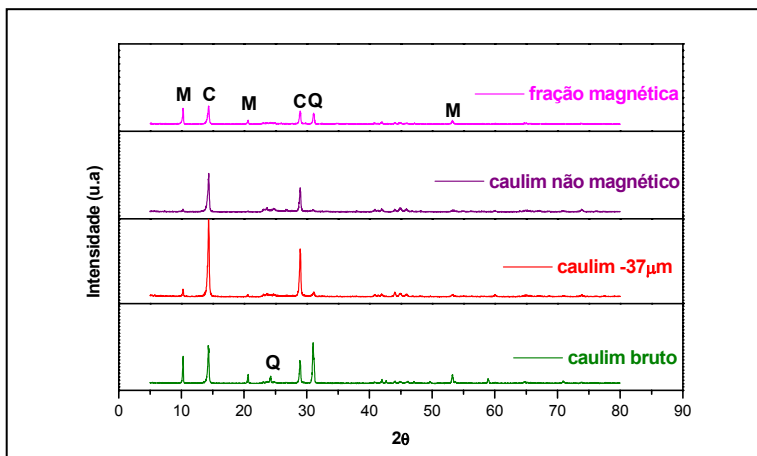
A difratometria de raios-X é a principal técnica utilizada na identificação mineralógica das amostras de caulim. Os difratogramas da amostra de caulim bruto, da fração -37  $\mu\text{m}$ , dos produtos não magnético e magnético encontram-se ilustrados na Figura 6.

Segundo a avaliação dos resultados (Figura 6), a amostra bruta, -37  $\mu\text{m}$  e do produto não magnético possuem picos característicos de caulinita. Estes difratogramas denotam que o caulim dessa região é essencialmente caulinitico, uma vez que não possui picos de illita e halloysita.

A análise dos difratogramas das frações -37  $\mu\text{m}$  e não magnética são semelhantes, evidenciando não haver variações na composição mineralógica, após a etapa de separação magnética. No entanto, pode-se observar que as amostras -37  $\mu\text{m}$  e magnética possuem o pico da muscovita em 10,24° (2 $\theta$ ),

o mesmo não se verifica na fração não magnética. Este resultado indica que na etapa de separação magnética a muscovita foi removida e sugere a existência de ferro associado à muscovita, ou possivelmente, na sua estrutura cristalina.

O difratograma da fração magnética ilustra os picos de caulinita. Neste caso pode-se concluir que a caulinita contém óxido de ferro que pode estar nos *booklets*, isto é, estruturas obtidas pelo empilhamento semelhante a um livro, normalmente encontradas em minerais como caulinita, ou na estrutura cristalina.



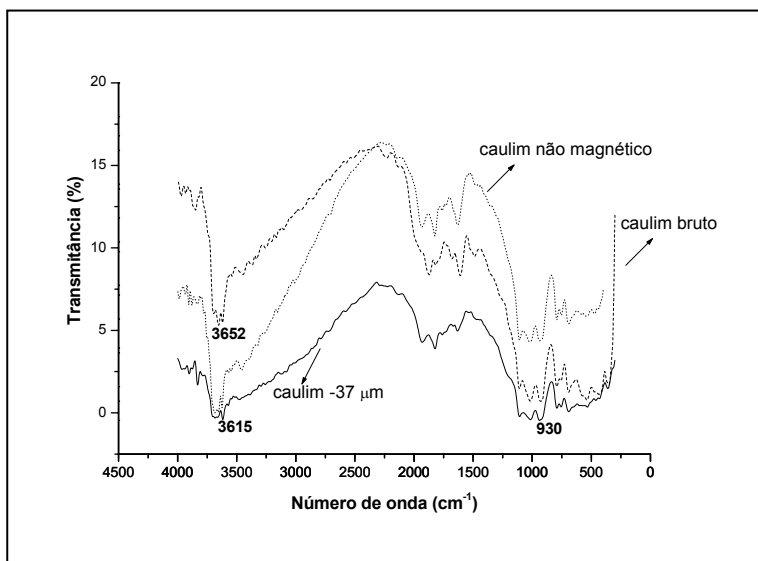
**Figura 6.** Difratogramas ilustrativos das amostras de caulim bruto, -37  $\mu\text{m}$ , não magnética e produto da separação magnética (M-Muscovita, C-caulinita e Q- Quartzo).

#### 4.7 | Espectroscopia no Infravermelho (IV)

A espectroscopia de infravermelho foi utilizada como técnica complementar à DRX. Os resultados de caracterização por DRX elucidaram a ocorrência dos minerais caulinita, muscovita e quartzo.

Na Figura 7 constam os espectros de infravermelho da amostra de caulim bruto, fração  $-37 \mu\text{m}$  e não magnética. Nestes espectros, observam-se bandas características da caulinita e da muscovita. Na região próxima a  $3.600 \text{ cm}^{-1}$ , ocorrem bandas em  $3.615$ ,  $3.653$  e  $3.663 \text{ cm}^{-1}$ , que correspondem à vibração Al–O–H, que podem pertencer tanto à caulinita quanto à muscovita (MAREL e BEUTELSPACHER, 1976).

Uma pequena inflexão na região de  $930 \text{ cm}^{-1}$  corresponde à vibração de deformação das ligações Al–OH–Fe. Esse tipo de ligação é indicativo da substituição de Al por Fe na estrutura cristalina da caulinita.

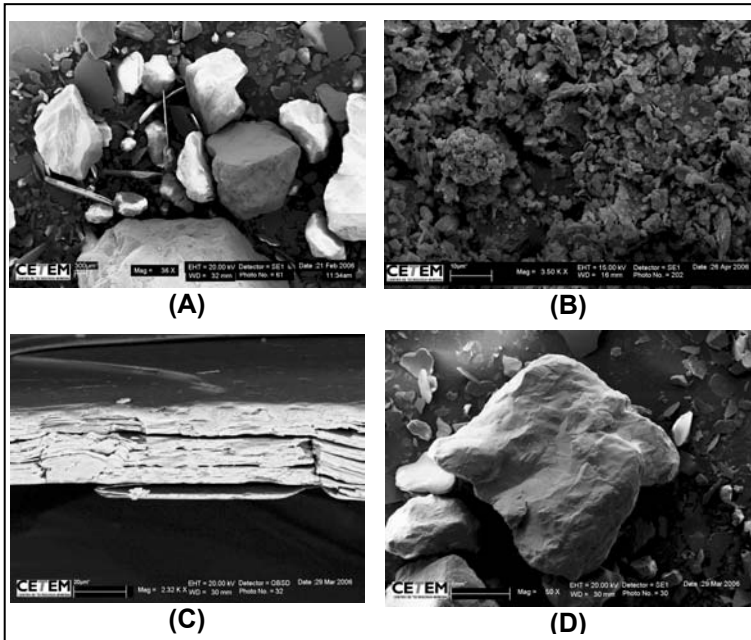


**Figura 7.** Espectros no infravermelho da amostra de caulim bruto, frações  $-37 \mu\text{m}$  e não magnética.

#### 4.8 | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A caulinita possui grandes variações de morfologia e tamanho de grão; essas variações podem estar associadas à origem do depósito e ao grau de cristalinidade do mineral.

Com o intuito de avaliar a morfologia das partículas das amostras de caulim, foram obtidas fotomicrografias por meio de MEV, com o uso de elétrons secundários. As Figuras 8A, B, C, D ilustram as estruturas da amostra de caulim bruto, muscovita, caulinita e quartzo.



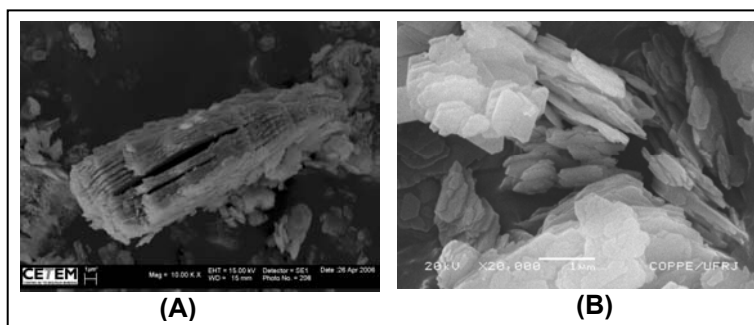
**Figura 8.** Fotomicrografias das amostras de caulim e de seus minerais associados. Em (A), caulim bruto, em (B), caulinita, em (C), muscovita e, em (D), quartzo.



O exame dos resultados (Figura 8C) evidencia a existência de muscovita com cristais bem desenvolvidos, com estriações horizontais, afiladas e largura considerável, características normalmente encontradas neste mineral (DANA, 1976). Ademais, a avaliação dos resultados de caracterização por DRX indica a presença de óxido de ferro na muscovita, que pode ser comprovada pela existência de suas estriações afiladas com possíveis impurezas mineralógicas.

Como observado, a caulinita (Figura 8B) possui uma morfologia com cristais de formato laminar, bordas irregulares semelhantes a hexágonos, isto é, placas pseudo-hexagonais. As bordas irregulares, possivelmente, foram originadas numa má formação da mesma.

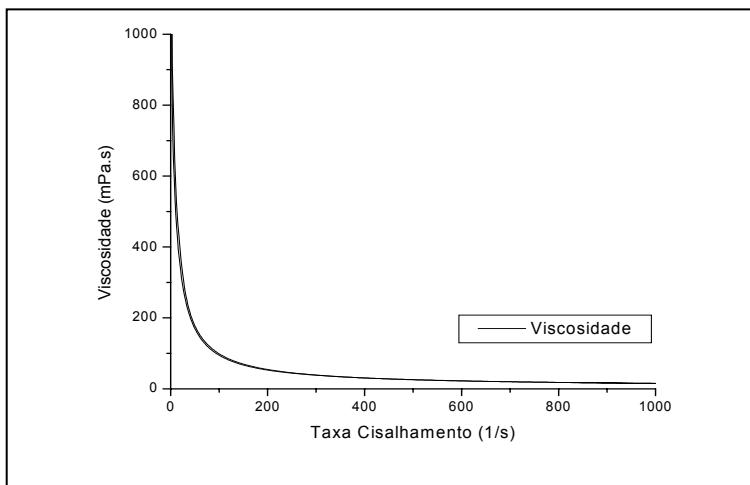
Na Figura 9A, pode-se observar estruturas da caulinita aglomeradas, não laminadas, na forma de *booklets*. As etapas de beneficiamento podem danificar as estruturas originais da caulinita e promover sua delaminação. Portanto, essas etapas favoreceram, apenas, a uma pequena separação das placas, Figura 9B.



**Figura 9.** Fotomicrografias das amostras de caulim, em (A), grãos de caulinita obtidas pelo empilhamento, *booklets*, e em (B), *booklets* após as etapas de beneficiamento.

#### 4.9 | Determinação da Viscosidade de Polpa

Foram realizadas medidas de viscosidade com o objetivo de avaliar o regime reológico da polpa de caulim, que segundo as especificações industriais, deve apresentar valores de até 1.000 mPa.s. A Figura 10 ilustra a variação da viscosidade da polpa de caulim em função da taxa de cisalhamento.



**Figura 10.** Variação da viscosidade da polpa em função da taxa de cisalhamento.

A queda dos valores da viscosidade pode ser explicada pela ruptura de estruturas tridimensionais existentes na polpa. Sob a ação do cisalhamento, estas estruturas começam a romper-se e a ordenar-se, despreendendo as moléculas de água que estavam armazenadas no interior da rede tridimensional, tornando a polpa mais fluida, isto é, menos viscosa.

Com base nos dados do gráfico da Figura 10 obtém-se o valor numérico da tixotropia, que, para esta polpa, foi de 112,75

Pa/s. Esta medida quantifica a energia necessária à quebra da rede tridimensional existente na polpa (transformação gel-sol).

#### 4.10 | Determinação da Opacidade

A opacidade é uma propriedade óptica da superfície de cobertura e está intimamente relacionada à habilidade de espalhamento de luz; tem como função limitar a quantidade de luz que atravessa o papel. Este deve possuir a maior opacidade possível para evitar problemas, como legibilidade de textos e alteração das cores nas imagens coincidentes de frente e verso da folha (PAIVA *et al.*, 2003).

Quanto maior for o índice de refração, maior será o valor da medida de opacidade. Para um caulim com valor de alvura 87% ISO, o índice de refração é próximo a 1,5. O dióxido de titânio possui um índice de refração entre 2,5 e 2,7, daí sua vantagem sobre o caulim. No entanto seu uso é restrito, devido ao custo elevado.

O valor de opacidade obtido para o caulim da região Borborema-Seridó está ilustrado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Opacidade do caulim da região Borborema-Seridó

Caulim	Opacidade (% ISO)
Bruto	85,38
Alvura 87,72% ISO	85,98

Segundo o resultado de opacidade, o valor obtido para o produto alvejado difere do bruto em 0,6%, é necessário destacar que todas as etapas de beneficiamento que proporcionem

maior valor de opacidade para o caulim são importantes, pois o aumento de 0,5% reduz a quantidade de dióxido de titânio utilizada. Uma das alternativas das indústrias que utilizam caulim para cobertura é adicionar pequenas quantidades de dióxido de titânio ao caulim, o que proporciona uma redução nos custos (PAIVA *et al.*, 2003).

## 5 | CONCLUSÃO

O caulim da região Borborema-Seridó é de origem primária, essencialmente caulínítico, e encontra-se associado aos minerais quartzo, feldspato e muscovita. A fração abaixo de 37  $\mu\text{m}$  corresponde a 47% em massa da alimentação. Suas principais impurezas são os óxidos de ferro, hematita e magnetita.

As operações de classificação granulométrica, separação magnética e de alvejamento químico são necessárias ao beneficiamento do caulim. A separação magnética elevou o índice de alvura em 0,44%, por remoção das espécies magnéticas, possivelmente, magnetita. Já o alvejamento químico removeu os minerais portadores de ferro remanescentes, principalmente a hematita. Assim, as duas etapas de beneficiamento foram complementares, proporcionando ao caulim uma alvura final de 87,72% ISO.

Segundo os resultados de análises químicas, o caulim, com índice de alvura 87,72% ISO, possui 0,16% de ferro. Este teor é um indicativo de que o ferro não foi totalmente removido nas etapas de beneficiamento, devido à possível presença dos íons de ferro na estrutura cristalina da caulinita.

O controle do pH e do Eh durante o alvejamento químico é fundamental para garantir a remoção do ferro e inibir qualquer possibilidade de precipitação de enxofre elementar, a qual poderia vir a comprometer a alvura do caulim.

Os resultados de distribuição granulométrica, área superficial, viscosidade, opacidade e alvura indicam que o caulim pode ser utilizado nas indústrias de papel (carga e cobertura), tinta, cerâmica, borracha, entre outras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, E. A., ALMEIDA, S. L. M., 1997, "Caulim E Carbonato De Cálcio: Competição na Indústria De Papel". In: *Estudos e Documentos*, v. 41, Centro de Tecnologia Mineral, Brasil.
- CONCEIÇÃO, S., SANTOS, N. F., VELHO, J., FERREIRA, J. M. F., 2005, "Properties of paper coated with kaolin: the influence of the rheological modifier", *Applied Clay Science*, "no prelo".
- CUNHA, F. O., 2004, *Estudo da Reologia de Polpas de Caulim para a Indústria de Papel com Base no Caulim da Região do Prado*, Tese de D.Sc. Pontifícia Universidade Católica - PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DANA, J. D., 1976, *Manual de Mineralogia*, v. 02, 1 ed. Brasil, Livros Técnicos e Científicos.
- DOMENICO, J. E. J., "The Role of Phisycal Processing Enhancing The Quality of Industrial Mineral". In: 14<sup>th</sup> Industrial Minerals International Congress, Denver, Colorado, March 2000.
- LUZ, A. B., 1995, *Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral*, Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, Brasil.
- LUZ, A. B., 1998, *Estudos de Reoxidação e Redução de Ferro contido em Caulins, Dissertação de Doutorado em Engenharia Mineral*, Tese de D. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, Brasil.
- LUZ, A. B., CAMPOS, A. R., CARVALHO, E. A., BERTOLINO, L. C., 2005, "Caulim - Usos e Especificações". In: LUZ A. B. e LINS F. F (eds) *Rochas e Minerais Industriais*, 1 ed., cap. 11, Rio de Janeiro, Brasil, Centro de Tecnologia Mineral.
- LUZ, A. B., CHAVES, A. P., 2000, "Tecnologia do Caulim: ênfase na indústria de papel" In: *Rochas e Minerais Industriais*, v. 01, Centro de Tecnologia Mineral.

- LUZ, A. B., DAMASCENO, E. C., 1993, "Caulim: Um mineral industrial importante". In: *Tecnologia Mineral*, v. 65, Centro de Tecnologia Mineral.
- LUZ, A. B., LINS, F. A. F., PIQUET, B., COSTA, M. J., COELHO, J. M., 2003, "Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado". In: *Rochas e Minerais Industriais*, v. 09, Centro de Tecnologia Mineral.
- LUZ, A. B., MIDDEA, A., 2004, "Purificação de caulim por floculação seletiva" In: *Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, v. 02, pp. 267-274, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- MIDDEA, A., 2004, *Inovação Tecnológica do Uso de Minerais na Agricultura. Caracterização de Amostra de Zeólita Natural*, In: Relatório de Atividade Individual, RHAE, Centro de Tecnologia Mineral.
- MONTE, M. B. M., CARVALHO, E. A., FERREIRA, O., CABO, S. S., 2001, "Caulim CADAM". In: SAMPAIO, J. A., LUZ, A. B., LINS, F. F. (eds), *Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil*, 1 ed., cap. 01, Rio de Janeiro, Brasil, Centro de Tecnologia Mineral.
- MURRAY, H. H., KOBEL, J. E., 2005, "Engineered clay products for the paper industry", *Applied Clay Science*, v. 28, pp. 199-206,
- PAIVA, P. R. P., TRIGUEIRO, F. E., MONTE, M. B. M., 2003, "Técnicas Alternativas para a Modificação do caulim". In: *Rochas e Minerais Industriais*, v. 08, Centro de Tecnologia Mineral.
- SILVA, M. R. R., DANTAS, J. R. A., 1997, "Província pegmatítica da Borborema-Seridó, Paraíba e Rio Grande do Norte". In: DNPM/CPRM (eds) *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, 1 ed., v. 4b, Brasília, Brasil, Departamento Nacional de Produção Mineral.
- WILSON, I. R., 2004, "Kaolin and halloysite deposits of China", *Clay Minerals*, v. 39, pp. 1-15.
- WILSON, I. R., SANTOS, H. S., SANTOS, P. S., 1998, "Caulins brasileiros: alguns aspectos da geologia e da mineralogia", *Cerâmica*, v. 44, nº 287-288, pp. 118-129.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2007, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

SRMI-13 – **Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região Borborema-Seridó para produção de vitrocerâmica feldspática reforçada com leucita.** Carla Napoli Barbato, Tsuneharu Ogasawara e João Alves Sampaio, 2008.

SRMI-12 – **Pigmentos Inorgânicos: Propriedades, Métodos de Síntese e Aplicações.** Rui de Goes Casqueira e Shirleny Fontes Santos, 2008.

SRMI-11 – **Reologia Aplicada ao Transporte de Polpas Minerais em Dutos.** Christine Rabello Nascimento, 2008.

SRMI-10 – **Estudo de Alterabilidade de Rochas Silicáticas para Aplicação Ornamental.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Julio César Guedes Correia, Juliana Maceira Moraes e Adriano Caranassios, 2008.



## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Geral: (21) 3867-7222 - Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233  
Telefax: (21) 2260-2837  
E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)  
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.