

25. Mica

Patrícia Maria Tenório Cavalcante¹

Carlos Adolpho Magalhães Baltar²

João Alves Sampaio³

INTRODUÇÃO

Mica, do latim *micare* (brilho), é um termo genérico aplicado ao grupo dos minerais constituído por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio e, por vezes, lítio, cristalizado no sistema monoclinico, com diferentes composições químicas e propriedades físicas. Dentre outras, podem ser citadas: clivagem fácil, que permite a separação em lâminas muito finas; flexibilidade; baixa condutividade térmica e elétrica; resistência a mudanças abruptas de temperaturas. Tais características conferem a esse mineral múltiplas aplicações industriais.

O grupo das micas possui mais de 30 minerais classificados em micas ditas verdadeiras, micas frágeis e as de intercadas deficientes. Os minerais de mica mais conhecidos são: moscovita, biotita, lepidolita, glauconita, paragonita, flogopita, dentre outros. Como se observa, o grupo das micas é composto de inúmeros minerais, portanto, neste trabalho, propõe-se fazer uma abordagem da moscovita, por ser o mineral mais conhecido e com maior número de usos industriais.

Todas as micas são compostas por lâminas de silicatos tetraédricos. As lâminas de silicatos são compostas por seis anéis interconectados que são responsáveis por uma típica estrutura simétrica pseudo-hexagonal monoclinica ou triclinica com destacado plano de clivagem paralelo às superfícies maiores. Essas características permitem o desfolhamento do mineral em lâminas com espessuras tão finas quanto 1 μm , porém aqueles com aplicações comerciais possuem espessuras mais grossas, da ordem de 15 μm .

¹ Enga. Mecânica/USU, D.Sc. Engenharia Metalúrgica/COPPE-UFRJ, Bolsista do CETEM/MCT

² Engo. de Minas/UFPE, D.Sc. Eng. Metalúrgica/COPPE-UFRJ., Prof. Deptº Eng. de Minas da UFPE

³ Engo. de Minas, D.Sc. Engenharia Metalúrgica/COPPE-UFRJ, Tecnologista Sênior do CETEM/MCT

A moscovita se apresenta nas categorias “folha” (*sheet*) e “moída” (*ground*). A mica folha pode ser classificada com base na cor, assim como no tamanho máximo de lâminas, o que permite a sua subclassificação em:

- blocos - com espessura mínima de lâmina de 180 μm ;
- finos - com espessura entre 50 e 180 μm ;
- filmes - qualidade superior aos blocos com espessura entre 20 e 180 μm ;
- *splittings* - lâmina com máximo de espessura de 30 μm e área útil de 483 mm^2 .

A mica moída domina, em termos de volume, as aplicações comerciais, incluindo-se nesta categoria a mica micronizada (tamanho médio de partícula < 53 μm), moída a seco (tamanho entre 1,2 mm e 150 μm) ou a úmido (tamanho de partícula entre 45 e 90 μm) (Andry, 1992).

A comercialização mais significativa da mica ocorre segundo a conhecida forma, folhas de mica, cujo preço é função das dimensões de suas folhas. Assim, aquelas folhas mais puras e sem defeitos, que não prejudicam o corte e a perfuração das mesmas, são as que possuem melhores ofertas de mercado. Entretanto, há demanda crescente por mica com granulometria fina para fins nobres, como pigmentos para indústrias de colorifícios, plásticos e cosméticos. Esses produtos de mica são obtidos por flotação e ainda moídos ou micronizados. Essas micas podem ser obtidas a partir de pegmatitos com zoneamento bem desenvolvido.

A natureza, quantidade e qualidade de muitos minerais e minérios podem ser avaliadas com base em evidências geológicas. Entretanto, essas facilidades não podem ser aplicadas aos depósitos de micas, em virtude das suas formas de ocorrência, essencialmente, nos pegmatitos. Igualmente, o beneficiamento das micas difere dos demais minérios, em especial, o da mica em folha, muito embora a mica fina possa ser tratada por flotação.

A produção de mica no Brasil é estimada em 4 mil t/ano, já há alguns anos, pela dificuldade de acesso a informações mais confiáveis. A mica, proveniente, principalmente, de atividades de pequenas mineradoras no Nordeste, é resultante da exploração de pegmatitos para produção de feldspato, caulim e outros (Batista, 2004). A produção mundial aproxima-se de 300 mil t/ano com destaque para Rússia (34%).

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

2.1. Mineralogia

Os silicatos ocorrem na crosta terrestre com elevada abundância, acredita-se que cerca de 90% da crosta terrestre seja constituída de alguma forma por minerais da classe dos silicatos. A unidade básica na constituição desses minerais é o composto SiO_4 formando uma estrutura tetraédrica e um grupamento aniônico com quatro cargas negativas. As diferentes maneiras, por meio das quais esses tetraedros se combinam, resultam nas subclasses de silicatos, conforme descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Subclasses dos silicatos, segundo o arranjo da suas estruturas tetraédricas e não de acordo com a sua estrutura química.

Subclasses	Descrição	Subclasses	Descrição
Nesosilicatos	Tetraedros simples	Ciclossilicatos	Estrutura em anel
Sorosilicatos	Tetraedros duplos	Filossilicatos	Estrutura em folhas
Inossilicatos	Cadeias simples e duplas	Tectossilicatos	Estrutura em esqueletos

As micas são aluminossilicatos, pertencentes à subclasse dos filossilicatos, que se caracterizam por uma estrutura lamelar. As diversas espécies de mica, no entanto, possuem propriedades físicas e composições químicas diferentes entre si.

A unidade estrutural básica das micas apresenta-se como um sanduíche (lamela) onde duas camadas tetraédricas de sílica envolvem uma camada octaédrica de alumina. Nas camadas de sílica ocorre substituição de um quarto do silício por alumínio, gerando um excesso de carga elétrica negativa que é compensado por átomos de potássio, cálcio, magnésio, lítio, sódio ou ferro, dependendo do tipo de mica (Ernst, 1971). No caso da moscovita, o potássio exerce a função de cátion de compensação ficando entre as lamelas em posição equidistante a doze átomos de oxigênio, sendo seis de cada lamela adjacente (Velho *et al.*, 1998).

Dentro das camadas que compõem o sanduíche as ligações covalentes de silício-oxigênio e alumínio-oxigênio são bastante energéticas e, portanto, apresentam dificuldade de ruptura. Por sua vez, os sucessivos sanduíches são unidos por ligações frágeis estabelecidas pelos cátions de compensação. Como

conseqüência, as unidades estruturais são facilmente separadas resultando na clivagem perfeita.

A estrutura das micas é semelhante as das esmectitas que, comparativamente, no entanto, apresentam menor quantidade de cátions de compensação e maior quantidade de água entre as lamelas, o que resulta na propriedade de inchamento, característica dessas argilas. A mais importante das micas, a moscovita, é um filossilicato de alumínio e potássio ($\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F}_2)$), que cristaliza no sistema monoclinico e caracteriza-se pela clivagem basal perfeita e hábito laminar (Figura 1). As lâminas são flexíveis e elásticas (Dana-Hurlbut, 1957) com brilho vítreo, variando de incolor a verde pálido. Na Tabela 2 constam suas principais propriedades físicas, segundo Tanner (1994).

Tabela 2: Propriedades físicas da moscovita.

Propriedades		Propriedades	
Módulo de Elasticidade (Pa.10 ⁹)	172	Densidade Relativa	2,77-2,88
Resistência à Compressão (Pa.10 ⁶)	221	Dureza Mohs	2,8-3,2
Resistência à Tração (Pa.10 ⁶)	225-297	Resistividade (ohms/cm ³)	2x10 ¹³ -1x10 ¹⁷
Temperatura de Decomposição* (°C)	850-940	Constante Dielétrica	6,5-9,0

* Dados experimentais da primeira autora deste Capítulo.



Figura 1: Moscovita proveniente da província pegmatítica da Borborema (RN).

2.2. Geologia

A moscovita é um dos tipos de mica mais comum, podendo ocorrer em uma grande variedade de ambientes geológicos, em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Em geral, a moscovita é obtida industrialmente de pegmatitos graníticos onde é gerada por metassomatismo dos feldspatos, com a remoção de KOH (Velho *et al.*, 1998):



Nos veios pegmatíticos, a moscovita pode ser encontrada tanto na parte central quanto nos contatos com a rocha encaixante.

Os pegmatitos são rochas ígneas, plutônicas, geralmente associadas com granitos, e que se apresentam predominantemente em forma de diques (veios e lentes) preenchendo fraturas de rochas pré-existentes (Castro e Jatobá, 2004). Ocorrem, geralmente, de forma irregular e ramificada. Na composição mineralógica dos pegmatitos predominam os feldspatos, quartzo e micas (moscovita e biotita). Outros minerais freqüentemente encontrados são: turmalina, berilo, espodumênio, tantalita, columbita, cassiterita e minerais de terras raras, entre outros.

Os pegmatitos formam grandes massas rochosas; um veio pode ter vários quilômetros de comprimento e vários metros de espessura. Os minerais constituintes do pegmatito também podem conter cristais de grandes dimensões. A título de exemplo, de acordo com Milovsky e Kononov (1985), na Sibéria foi encontrado um cristal de moscovita pesando uma tonelada.

No Brasil, as micas são encontradas em diversas regiões pegmatíticas, a exemplo das ocorrências pré-cambrianas da província pegmatítica da Borborema, localizada na borda ocidental do Planalto da Borborema e na região do Seridó, nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Nessa região há centenas de corpos pegmatíticos encaixados em micaxistos, quartzitos e gnaisses. Outras ocorrências importantes de pegmatitos no Brasil são as da região de Governador Valadares (Minas Gerais) e de Perus (São Paulo). A moscovita também ocorre em alaskitos, em rochas metamórficas (xistos e gnaisses) e em rochas sedimentares (Deer *et al.*, 1962).

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

3.1. Lavra

O método de lavra utilizado para a produção de moscovita depende, naturalmente, das condições da ocorrência e do tipo de minério. No caso da mica lixó, utiliza-se a lavra a céu aberto, com o emprego de métodos convencionais. Nesses casos, a remoção do minério é feita com uso de equipamentos convencionais como trator, retro-escavadeira e pá mecânica. O baixo valor agregado da mica, em várias situações, é um fator limitante ao uso da lavra subterrânea (Luz *et al.*, 2001). Em situações onde a moscovita ocorre em rochas mais duras, o desmonte é feito com perfuração e explosivo.

A produção da mica em placas pode ocorrer a céu aberto ou por meio de lavra subterrânea, com a abertura acompanhando o mergulho do corpo mineralizado (Tanner, 1994). Na lavra dos blocos de mica em placas, o plano de fogo deve ser realizado de forma a preservar a integridade do bloco de moscovita; para tanto, são usadas técnicas especiais de desmontes com explosivos.

Na região do Seridó (estados da Paraíba e Rio Grande do Norte) a moscovita é obtida, de pegmatitos, por meio de operações rudimentares de lavra. A lavra pode ser a céu aberto ou subterrânea, com o uso de explosivos. Em afloramentos e, sob condições favoráveis, é comum realizar-se uma lavra manual com o uso de ferramentas elementares (Figura 2).

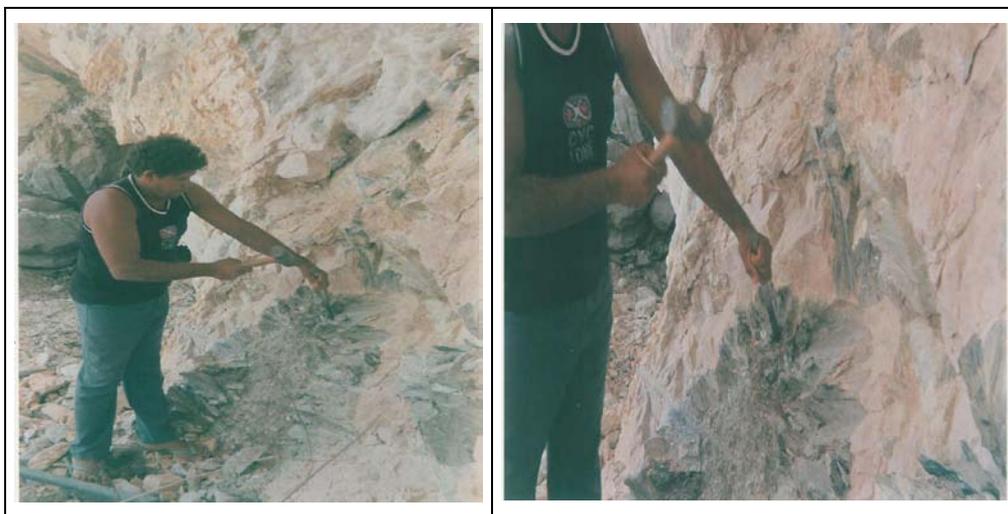


Figura 2: Lavra manual de moscovita com o uso do “pixote”, na mina de Ubacira, em Currais Novos, RN.

3.2. Processamento

Há duas situações distintas: o beneficiamento da mica em placa ou *sheet* e o beneficiamento da mica em escamas ou em fragmentos, *flake*, conhecida no Brasil como mica lixo.

O processo de beneficiamento da mica em placa consiste em operações manuais e, portanto, com demanda significativa de mão-de-obra. De início, é feita a remoção das impurezas por meio de agitação. Em seguida, as placas são desfolhadas na espessura apropriada e, depois, cortadas em dimensões padronizadas e retocadas nas bordas com uso de faca. Finalmente, as placas são classificadas de acordo com a cor, limpidez e regularidade (Bezerra e Carvalho, 1997; Velho *et al.*, 1998).

Por sua vez, a moscovita lixo, que geralmente ocorre associada a outros silicatos como quartzo, feldspato e caulim, exige técnicas de concentração mais sofisticadas. O processo convencional consiste, segundo Tanner (1987), basicamente, em:

- moagem em moinho de barras;
- classificação granulométrica, podendo utilizar classificadores de arraste (*rake*), classificador hidráulico ou hidrociclones;
- espirais de Humphreys e/ou flotação.

Desse modo é feito o beneficiamento da mica na usina de Oglebay Norton, localizada em Kings Mountain (Carolina do Norte, EUA). O minério proveniente de um pegmatito alterado é inicialmente britado em britador de mandíbulas a uma granulometria abaixo de 6 mm. O produto da moagem é misturado com água e deslamado em classificador espiral. A concentração é realizada em espirais de Humphreys (Figura 3A) e flotação (Figura 3B) realizada com amina, em meio ácido (pH 2,5 a 3,0), de onde é obtido um concentrado grosso. O rejeito da flotação passa por um classificador espiral e, na etapa seguinte, sofre um processo de atrição e deslamagem e é, finalmente, submetido à flotação para se obter um concentrado fino (Luz *et al.*, 2001). Em Spruce Pine (Carolina do Norte) a Feldspar Corporation obtém um concentrado de mica no estágio inicial da flotação de feldspato. O minério com granulometria abaixo de 25 mm é moído e flotado com acetato de amina em pH 2,5 a 2,7. O flotado constitui-se no concentrado de mica (Luz *et al.*, 2001).

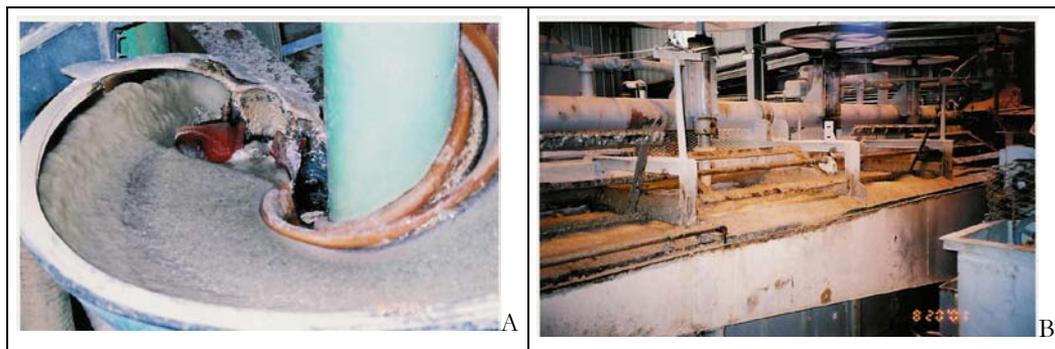


Figura 3: Em A, concentração de moscovita por meio de espirais de Humpheys na usina da Oglebay Norton, Carolina do Norte. Em B, concentração de moscovita por meio de flotação na mesma usina.

Browning (1970) descreveu dois processos de flotação para concentração de mica proveniente de pegmatitos de Alabama, Geórgia e Carolina do Norte: um circuito ácido para mica grossa e um circuito alcalino para mica fina. No primeiro, a mica flota com amina em pH 4,0 após condicionamento com 40 a 45% de sólidos em ácido sulfúrico. No processo alcalino, é realizada uma deslamagem inicial para remoção de argilas. O minério é condicionado com carbonato de sódio e sulfonato de lignina, em polpa com 40 a 45% de sólidos, e flotado com uma combinação de ácido graxo e amina, em pH 8,0 a 10,5. Pugh *et al.* (1996) sugeriram um circuito alcalino para flotação de mica com um cloreto de dodecilamina.

4. USOS E FUNÇÕES

Moscovita folha

Possui várias aplicações industriais, particularmente na indústria eletroeletrônica devido à sua elevada resistência dielétrica e resistividade, baixa perda de potência (elevado fator Q) e baixo coeficiente de temperatura. Além dessas propriedades, a moscovita resiste a temperaturas de 600 a 900°C, e pode ser facilmente moldada em diferentes formas e tamanhos (Rajgarhia, 1987, citado em Tanner, 1994).

Comercialmente, a moscovita é desfolhada em lâminas nunca maiores que 2,54 cm de espessura. Estas finas lâminas são classificadas em dez diferentes qualidades, de acordo com o tamanho e o número de impurezas presentes. A seguir são descritas algumas aplicações desse tipo de moscovita.

- Janelas de microondas - essas janelas possuem excelente resistência mecânica e baixa perda de energia, e a mica pode ser colocada utilizando métodos de baixa temperatura.
- Condensador - a moscovita possui em média constante dielétrica em torno de 7,0. Tal característica permite sua utilização em todos os tipos de aplicações eletrônicas.
- Transistor - as excelentes propriedades mecânicas e elétricas da moscovita, aliadas à elevada resistência à perda de carga superficial, à baixa absorção de umidade e à habilidade de dissipar calor, torna a moscovita ideal para este tipo de aplicação.
- Isolante intercamada - a moscovita, com espessura de 100 μm , é usada como isolantes para espiras usadas em transformadores classe H. O uso do mineral neste caso faz com que se diminua o tamanho e o peso dos transformadores.
- Resistência - as propriedades de elevada resistência mecânica ao aquecimento, bem como a baixa densidade aparente são apropriadas para a confecção de resistências.
- Tubo de vácuo - atualmente constitui-se na aplicação mais usual da moscovita do tipo folha por esta possuir alta resistência mecânica, propriedades elétricas e por poder ser precisamente moldada.
- Tubos e buchas - isolantes para componentes elétricos requerem tubos inorgânicos que podem ser feitos por moscovita.
- Mísseis teleguiados - o uso da moscovita nesse tipo de aplicação é secreto. Entretanto, as propriedades físicas da moscovita e tolerância ao aquecimento a transformam em uma matéria-prima aplicável à engenharia de mísseis.
- Outros usos - a mica folha de alta qualidade é usada em néon lasers de hélio, filtros ópticos especiais, pirômetros e reguladores térmicos etc.

Nas lamas de perfuração de poços petrolíferos, a mica atua como um agente que favorece a circulação das lamas e minimiza as perdas desses fluidos de perfuração, em geral devido à infiltração na camada rochosa. A estrutura lamelar das micas proporciona a selagem das fraturas. Além disso, quando em suspensão, nesse tipo de aplicação, esse produto de mica assegura a suspensão de outros sólidos constituintes das lamas de perfuração.

Moscovita moída a úmido

A moscovita moída a úmido é utilizada nos seguintes produtos devido a suas propriedades de brilho, deslizamento e alta razão de aspecto (Preston, 1971 e Rajgarhia, 1987; citados por Tanner, 1994):

- Papel parede - as partículas brilhantes de moscovita fornecem um brilho sedoso quando aplicadas ao papel.
- Pigmento perolizado - a moscovita é usada como substrato no recobrimento de vários metais para obter o efeito perolizado. Em certos tipos de plásticos o recobrimento com moscovita é utilizado como agente corante.
- Pintura externa - a moscovita atua como reforço do pigmento, para reduzir trincas e a penetração nas superfícies porosas e fornece excelente adesão.
- Tintas aluminizadas - a moscovita substitui o alumínio em até 25% e é utilizada como uma medida econômica a este tipo de tinta. Além disso, a moscovita é inerte e protege o alumínio reativo de atmosferas corrosivas, promovendo a manutenção do brilho da tinta.
- Plásticos - é usada como carga para melhorar a qualidade de resistência térmica e elétrica e sua qualidade isolante. Embora, também seja usada a moscovita moída a seco para este tipo de aplicação, a moscovita moída a úmido possui maior penetração neste tipo de mercado devido à sua propriedade de extrusão e também porque pode substituir a fibra de vidro, que é muito cara, em alguns casos.
- Moscovita micronizada - é aquela composta de partículas muito finas abaixo de 40 μm . Em geral, é moída em moinho a jato, método mais eficaz porque consegue contornar os efeitos da plasticidade da mesma e ao mesmo tempo é um meio moedor isento de contaminação. Esse produto é usado para substituir a moscovita moída a úmido em certos

tipos de tintas. A moscovita micronizada, de preferência calcinada, é também usada em aplicações cosméticas como esmaltes de unha, batons, sombras e cremes, em decorrência da sua elevada estabilidade da luz ultravioleta, excelente lubrificidade, adesão à pele e compressibilidade. É coberta por alguns metais como o dióxido de titânio, para produzir esse efeito perolizante (Tanner, 1994).

5. ESPECIFICAÇÕES

Para cada tipo de aplicação da moscovita, existe uma distribuição específica para os tamanhos de partículas dos produtos de mica. A Tabela 3 ilustra as faixas granulométricas das micas e os correspondentes métodos de moagem, além da composição química genérica para dois minerais de mica. No caso particular da micronização, a granulometria do produto final encontra-se abaixo de 44 μm (Harben, 1989).

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Os principais minerais alternativos à mica variam de acordo com a aplicação, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1: Principais minerais alternativos à moscovita em algumas aplicações.

Aplicações	Substitutos.
Mica folha	Alumina cerâmica, quartzo fundido e polímeros orgânicos.
Sistemas elétricos	Mica sintética, polímero e elastômero.
Como carga	Barita, carbonato de cálcio, diatomita, feldspato, caulim, nefelina sienito, perlita, talco, wollastomita e sílica.
Lubrificante	Grafita, talco, lubrificante de lítio, dissulfeto de molibdênio e talco.
Agregados leves	Diatomita e vermiculita.

Tabela 3: Distribuições granulométricas da mica moída a seco e a úmido, para diversas aplicações, e composição química genérica para dois minerais de mica.

Tamanho de partículas (µm)	Percentagens (%) da fração de partículas maiores (M) ou menores (m) que				
	Moagem a seco		Moagem a úmido		Micronização
	C1	C2	C3	C4	C5
	M	M	M	m	m
3.360		0-10			
2.800		25-55			
850	Traços				
500	10-30				
250	10-50		1,0		
150	10-70	25-65	30,0	100	
106	10-30	10-20	50,0		
105				99,9	
74				85	
53			80,0	80	
44 (325#)			15,0	75	100
44 (-325#)			5,0		99,9

C1=poço petrolífero (fino); C2= poço petrolífero (grosso); C3= plásticos; C4= borracha; C5=tintas. Fonte: extraída e adaptada de Harben (1995)

Composição química (%) genérica para dois minerais de mica

Constituintes	Moscovita	Flogopita	Constituintes	Moscovita	Flogopita
SiO ₂	44-47	37-43	MgO	03,-1,5	23-29
Al ₂ O ₃	30-38	12-17	CaO	0,1	0,1-0,5
Fe ₂ O ₃	0,2-5	0,2-2	Li ₂ O	0,1-0,8	0-0,1
K ₂ O	8,5-11,5	8,5-11,5	F	0-0,15	0,5-5,0
Na ₂ O	0,1-0,8	0,3-0,8	P	traços	traços
TiO ₂	0-0,9	0-1,5	S	traços	traços
BaO	-	0-0,7	PF	4-5	1-3

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRY S. (1992). Mica, grounds for optimism. *Industrial Minerals*, November, p. 26-36.
- BATISTA, C. M. (2004). *Sumário Mineral*, DNPM.
- BEZERRA, M.S. e CARVALHO, V.G.D. (1997). *Minerais e Rochas Industriais da Região do Seridó, PB/RN*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 31p.
- BROWNING, J. S. (1970). Mica process development. *Transaction of Society of Mining Engineers*, v.247, p. 269-273.
- CASTRO, C. e JATOBÁ, L. (2004). *Litosfera: Minerais, Rochas, Relevo*”, Editora Universitária da UFPE, 109p.
- DANA; H. (1959). *Manual de Mineralogia - Volume 2*, Editora da Universidade de São Paulo, 642p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R. A. e ZUSSMAN, J. (1962). *Rock-Forming Minerals*, V.3, Longmans, 270p.
- ERNST, W.G. (1971). *Minerais e Rochas*, Editora Edgard Blücher, 163p.
- HARBEN, P. W. (1995). Mica. *The Industrial Minerals Handbook*, 2ª edição.
- LUZ, A.B.; BALTAR, C.A.M. e MACHADO, A.O.D-V. (2001). *Relatório Técnico de Viagem aos Estados Unidos no Âmbito do Projeto CTPetro, RV 10/01*, CETEM, 25p.
- MILOVSKY, A.V. e KONONOV, O.V. (1985). *Mineralogy*, Mir Publishers, Moscow, 320p.
- PRESTON, J.B. (1971). Mica. *Draft of report for Pigment Handbook*, 30p.
- PUGH, R.J.; RUTLAND, M.W.; MANEV, E. e CLAEISSON, P.M. (1996). Dodecylamine collector - pH effect on mica flotation and correlation with thin aqueous foam film and surface force measurements. *International Journal of Mineral Processing*, 46, p. 245-262.
- RAJGARHIA, M.L. (1987). *Ground mica*. Mica Manufacturing Company. Pvt Ltd., 30p.
- TANNER Jr., J.T. (1994). Mica. *In: Industrial Minerals and Rocks*, 6ª edição, Ed. Donald D. Carr.