

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Geração de revestimentos poliméricos contendo
resíduos de pegmatitos com características de
isolamento térmico**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado

Leonidas de Araújo Medeiros Junior

Secretário-Executivo

Darcton Policarpo Damião

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Alexandre Mendonça Gonçalves

Coordenador-Geral de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Marusca Santana Custodio

Coordenadora Substituta de Administração - COADM

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-65-5919-013-3

STA - 114

Geração de revestimentos poliméricos contendo resíduos de pegmatitos com características de isolamento térmico

Gabriella Neto Chagas

Eng. de Materiais pela UFRRJ. Bolsista PIBIT do
CETEM/MCTI

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico, D.SC. em Tecnologia de Processos
Químicos e Bioquímicos pela EQ-UFRJ. Pesquisador do
CETEM/MCTI

CETEM/MCTI

2020

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

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

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

Roberto Carlos da C. Ribeiro

Revisão

Ana Maria Silva Vieira de Sá

CRB7 3982

Catologação na Fonte

C433 Chagas, Gabriella Neto

Geração de revestimentos poliméricos contendo resíduos de pegmatitos com características de isolamento térmico / Gabriella Neto Chagas, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro. – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020.

41p. (Série Tecnologia Ambiental, 114)

1. Poliamida. 2. Muscovita. 3. Vestuário. 4. Resíduos de rochas ornamentais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. III. Título. IV. Série.

CDD – 678.6

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Província Pegmatítica de Borborema-Seridó	10
1.2 Pegmatitos	12
1.3 Exploração de Pegmatitos	13
1.4 A Geração de Resíduos de Pegmatitos	15
1.5 Muscovita	20
1.6 A Aplicação de Resíduos no Setor Polimérico	21
2 OBJETIVOS	23
3 EXPERIMENTAL	24
3.1 Origem dos Materiais	24
3.2 Tratamento dos Resíduos	25
3.3 Análise Química e Mineralógica do Resíduo	25
3.4 Análise Ecotoxicidade do Resíduo	25
3.5 Processamento dos Compósitos de Poliamida e Muscovita	25
3.6 Determinação dos Índices Físicos	27
3.7 Ensaio de Isolamento Térmico	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 Análise Química e Mineralógica do Resíduo	28
4.2 Análise Ecotoxicidade do Resíduo	29

4.3 Processamento dos Compósitos de Poliamida e Muscovita	30
4.4 Índice Físicos	30
4.5 Ensaio de Isolamento Térmico	32
5 CONCLUSÕES	34
6 AGRADECIMENTOS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMO

A geração de vestuário com maior controle térmico é de grande importância para melhorar as condições de trabalho de pessoas que exercem suas atividades sob sol escaldante. Nessa óptica, atrelado à reutilização de resíduos de rochas ornamentais, o presente projeto teve como objetivo tentar gerar peças de vestuários constituídos de poliamida 6 e muscovita, que é um mineral residual do corte de rochas pegmatíticas, e apresenta características de isolamento térmico. Foram gerados corpos de prova contendo 50, 70, 80, 90 e 95% de muscovita, em massa, na matriz da poliamida, que foram submetidos a ensaios de índices físicos e poder de absorção da temperatura. Verificou-se que a adição de 95% de carga mineral não alterou, significativamente, os índices físicos das amostras, tendo a massa específica aumentada apenas de 1,3 para $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Além disso, corpos de prova contendo 90% de carga mineral na matriz da poliamida permitem a redução da temperatura em mais de 50%.

Palavras-chave:

Poliamida, muscovita, vestuário, resíduos de rochas ornamentais.

ABSTRACT

The generation of clothing pieces with higher thermal control is of great importance to improve the working conditions of people who exercise their activities under hot sun. From this perspective, linked to the reuse of ornamental stone tailings, the present project aimed at generating garments made of polyamide 6 and muscovite, which is a residual mineral from the pegmatite rocks cut, and presents thermal insulation characteristics. Tensile specimens containing 50, 70, 80, 90 and 95% of muscovite, by mass, were generated in the polyamide matrix, which were submitted to physical indices tests and temperature absorption power. It was found that the addition of 95% of mineral filler did not significantly alter the physical indexes of the samples, since the specific mass increases only from 1.3 to 1.6 g.cm⁻³. In addition, specimens containing 90% of the mineral filler in the polyamide matrix allow the temperature to be reduced by more than 50%.

Keywords:

Polyamide, muscovite, clothing, dimension stone waste.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 50% dos brasileiros trabalham de 40 a 44 horas semanais. Diante desse cenário, a preocupação com o bem estar dos trabalhadores durante as horas trabalhadas se torna um fator importante para a produtividade e saúde do indivíduo, principalmente em ambientes perigoso e insalubre. Condições extremas de temperatura e riscos físicos, envolvendo eletricidade, por exemplo, muitas vezes não conseguem ser excluídos do ambiente de trabalho, mas podem ser minimizados a partir de um vestuário adequado.

A ergonomia considera os produtos como meios para proporcionar uma harmoniosa dinâmica do sistema homem-máquina-ambiente, salientando que os estudos e pesquisa deste sistema visam possibilitar o adequado funcionamento de cada elemento. No contexto do trabalho, isso pode ser estendido aos serviços prestados por profissionais das áreas de eletricidade, aos coletores de lixo, ambulantes nas praias, dentre outros que ao utilizarem vestuários adequados, aumentam seu desempenho no trabalho.

Os polímeros são substâncias orgânicas elaboradas a partir da polimerização de compostos orgânicos, sendo constituídos por cadeias carbônicas flexíveis e moldáveis. Com base nisso, são vastas as aplicações de seus materiais, incluindo no setor de vestimenta. A poliamida 6 é um termoplástico de ampla acessibilidade e aplicabilidade que, com o incremento de cargas minerais, como a muscovita, mineral com propriedades de isolamento elétrico, térmico e acústico, permitirão a geração de vestuários contendo essas propriedades.

A muscovita é um mineral que pode ser encontrado como subproduto do beneficiamento da rocha pegmatítica com fins ornamentais, extraído na Província Borborema-Seridó, no Nordeste brasileiro, e sua utilização como carga no setor polimérico poderá representar uma grande mitigação do impacto ambiental, pois o país ocupa a 4ª posição mundial de produção de rochas ornamentais, onde, desde a lavra ao beneficiamento, há perdas de material que correspondem a mais de 60% em massa.

1.1 | Província Pegmatítica de Borborema-Seridó

A Província, originalmente denominada de Província Pegmatítica da Borborema por Scorza (1944), corresponde à principal área de ocorrência de pegmatitos mineralizados no Nordeste do Brasil, situada entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Os pegmatitos dessa região estão concentrados em uma área com cerca de 75km x 150Km, na parte este-sudeste da faixa Seridó (FS), Subprovíncia Rio Grande do Norte da Província Borborema, compreendendo partes dos Estados da Paraíba e Rio grande do Norte, Nordeste do Brasil. O empilhamento estratigráfico nesta área, da base para o topo, consiste das Formações Jucurutu, Equador e Seridó, do Grupo Seridó de idade neoproterozoica (VAN SCHMUS et al. 2003).

Esta província é caracterizada por importantes ocorrências geológicas, que incluem diversos minerais com aplicação industrial, tais como micas, quartzo, feldspato e caulim, além de

amplo conteúdo gemológico o qual é conhecido mundialmente, tais como águas-marinhas e turmalinas elbaítas, incluindo a famosa turmalina Paraíba de São José da Batalha (PB).

Os pegmatitos respondem por grande parte da produção desses minerais industriais, sendo estes: caulim, espodumênio, feldspato, mica, quartzo e gemas de cor, e de metais como tantalita/colombita, berilo, lítio, dentre outros.

O mercado consumidor dos minerais extraídos a partir da lavra dos pegmatitos são consumidos nos mais diversos segmentos econômicos, destacando-se as indústrias de transformação – setores vidreiro, cerâmico, papel e celulose, metalúrgico, eletrônico e químico. A Tabela 1 ilustra as principais substâncias produzidas nos pegmatitos e os setores de consumo.

Tabela 1. Principais substâncias produzidas a partir dos pegmatitos.

Minerais	Principais setores consumidores
Berilo	Cerâmica e vidro.
Caulim	Papel e celulose, cerâmica, tintas e vernizes, produtos farmacêuticos e veterinários, fertilizantes, vidro e borracha.
Espodumênio	Cerâmica, vidro, eletrodo para solda, tintas e vernizes, indústria química, metalurgia (fabricação de alumínio primário, fabricação de baterias) e indústria nuclear (fabricação de reatores).
Feldspato	Cerâmica, vidro, eletrodo para solda e tintas e vernizes.
Mica	Lamas para perfuração, material de fricção, tintas e vernizes.
Quartzo	Fundição, vidro, cerâmica, tintas e vernizes, siderurgia, abrasivos, perfumes, sabões e velas, cerâmica e indústrias eletrônicas.
Tantalita/columbita	Indústrias eletrônicas, superligas, carbets de tântalo, produtos laminados e fios resistentes à corrosão e a altas temperaturas.

Fonte: CETEM, 2003.

1.2 | Pegmatitos

De forma geral, os pegmatitos são corpos de rocha de composição basicamente granítica (quartzo-feldspática-mica), de granulação majoritariamente grosseira, muitas vezes exibindo cristais gigantes, encaixados em estruturas lineares desenvolvidas em terrenos metamórficos, geralmente de idade Pré-Cambriana, como veios ou lentes, de forma e tamanho variados. A Figura 1 ilustra um pegmatito típico da região estudada.

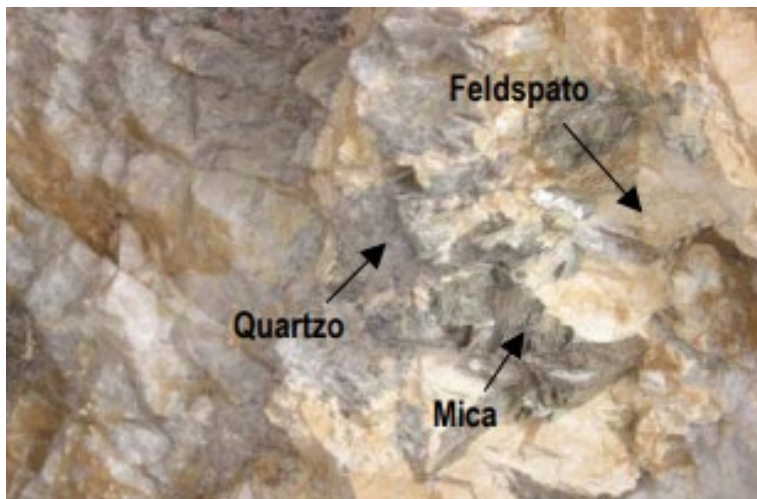


Figura 1. Foto de um pegmatito da Província de Borborema-Seridó.

Pegmatitos-graníticos constituem a maior fonte, em termos mundiais, de alguns metais raros, particularmente tântalo, além de representarem importantes depósitos de berílio, estanho, lítio, mica, gemas coradas, feldspatos, caulim e quartzo.

Segundo Ramberg (1958) a gênese dos pegmatitos graníticos é um tema controverso, podendo estar relacionada à concentração dos fluidos terminais em um processo de

diferenciação nas zonas de cúpula de maciços intrusivos graníticos, ou a fenômenos de mobilização metassomática de fluidos quartzo-feldspáticos preenchendo zonas de alívio de pressão em pacotes de rochas afetadas por metamorfismo regional.

De acordo com a literatura, os pegmatitos da Província podem ser classificados simplisticamente nos tipos: HOMOGENEOS, quando não exibem zoneamento mineralógico interno; HETEROGENEOS, caracterizados, entre outros critérios, por exibir um consistente zoneamento mineralógico e textural interno, em quatro zonas bem definidas e, idealmente, simétricas em relação ao eixo longitudinal do corpo.

Foi acrescentado por Rolf (1945) a denominação de pegmatitos MISTOS, aplicável aos corpos que exibem núcleos irregulares de cristais gigantes de quartzo e feldspato inseridos em maciços que seriam normalmente enquadrados como pegmatitos homogêneos.

1.3 | Exploração de Pegmatitos

Os primeiros registros de atividades incipientes de lavra de minerais de pegmatitos, na Província Borborema-Seridó, datam da época da I Guerra Mundial, visando a produção de mica (MORAES, 1997).

Conforme Da Silva & Dantas (1984), a partir da segunda metade da década de 30, intensificou-se a busca por minerais de tântalo e nióbio, o que desencadeou uma onda de exploração de pegmatitos, que atingiu seu ápice durante a II Guerra Mundial.

Em razão das demandas do esforço de guerra, a prioridade era produzir, a qualquer custo, induzindo na região uma cultura de lavra ambiciosa e predatória, em muito facilitada pelo grande número de pegmatitos aflorantes na Província, o que infelizmente perdura até hoje.

Após a guerra, o aproveitamento de minerais de pegmatitos tornou-se uma atividade sazonal, comandada, seja pela busca de meios de sobrevivência pelos sertanejos, em épocas de secas prolongadas, seja por eventuais episódios de melhoria de preços no mercado internacional para os minerais metalíferos.

Nas últimas duas décadas, observou-se o deslocamento lento e gradual do interesse do mercado para os minerais industriais, especialmente feldspatos e caulim, para suprir as indústrias cerâmicas instaladas nas regiões Nordeste e Sudeste, o que tem suportado uma certa continuidade na atividade extrativa de minerais de pegmatitos; porém, mantendo-se, lamentavelmente, os velhos paradigmas de garimpagem desordenada, predatória e pessimamente remunerada.

Segundo Bezerra e Carvalho (1997) existem na região de Junco do Seridó, localizada na Província, 10 unidades de beneficiamento de caulim, consideradas rudimentares e denominadas, regionalmente, de decantadores. Essas unidades têm capacidade instalada, cada uma, entre 600 a 2.400 t/ano. Existem, ainda, outras duas unidades de processamento de caulim na região, com capacidade instalada de 12.000 t/ano. Os produtos obtidos são resultantes de lavagem e classificação e com granulometrias abaixo de 100 e 200 malhas.

O caulim produzido destina-se, principalmente, ao mercado de papel (carga), cerâmica, tinta, plástico e borracha. Segundo ainda os mesmos autores, ensaios de alveamento realizados com os caulins da região mostraram a viabilidade técnica de elevar a alvura do caulim em 7 pontos.

1.4 | A Geração de Resíduos de Pegmatitos

A produção de chapas consiste na retirada de blocos gerando uma quantidade significativa de resíduos. Os grosseiros são gerados pela quebra das peças durante o corte, enquanto os resíduos finos aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída, que após o processo são lançadas no meio ambiente. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo alguns casos canalizados diretamente para os rios e lagos, ou são acumuladas nas serrarias ou pedreiras (FARIAS, 1995). No que tange ao processo de extração de pegmatitos pode-se verificar nas Figuras 2 a 5, depósitos de resíduos oriundos da exploração na Província de Borborema-Seridó.



Figura 2. Disposição de resíduos de pegmatitos.



Figura 3. Disposição de resíduos de pegmatitos.



Figura 4. Disposição de resíduos de pegmatitos.



Figura 5. Disposição de resíduos de pegmatitos.

De maneira geral Magacho (2006) divide as etapas da atividade produtiva do setor de rochas ornamentais em: pesquisa mineral, extração (jazimento), beneficiamento primário (indústrias de desdobramento e acabamento) e o

beneficiamento final de produtos. Podem-se encontrar rejeitos oriundos desta atividade produtiva de acordo com os seguintes tipos:

- Nas pedreiras: pedaços amorfos de rochas sem utilização gerados pelos equipamentos de desdobramento; fragmentos de cabo de aço; rejeito fino (pó) oriundo das perfurações das rochas e restos de madeira proveniente de escoramentos utilizados no processo extrativo.
- No desdobramento: laterais dos blocos (casqueiros), oriundos do desdobramento em chapas; pedaços de chapas brutas em tamanhos inferiores aos que possibilitam seus aproveitamentos comerciais, provenientes de quebras e defeitos; lama abrasiva produzida no processo de corte dos teares (granalha, cal e rocha moída); madeira de vários tamanhos; sucatas de lâminas de aço; sacos de papelão.
- No tratamento (polimento, resinagem etc.): pedaços de chapas polidas em tamanhos pequenos com valor comercial não condizente com a escala comercial da indústria; lama produzida no processo de polimento das chapas; suportes plásticos dos abrasivos; caixas de papelão; plásticos de embalagens; pedaços diversos de madeira.
- No corte: lâminas de ferro: lama produzida no processo de corte (granalha, cal e rocha moída); discos de desbaste; rebolos; corpos de brocas; pedaços de chapas polidas em tamanhos pequenos com valor comercial baixo; pedaços de madeira.

De acordo com Filho et al. (2005), a grande maioria dos resíduos e rejeitos gerados pela indústria de rochas ornamentais é lançado em lagoas de decantação e aterros. Além da contaminação direta dos aquíferos superficiais, esses rejeitos descaracterizam a paisagem e preocupam as autoridades públicas, órgãos sanitários e a população localizada no entorno das serrarias e áreas da extração.

Se tratando da natureza toxicológica, de acordo com os dados de Lorenzoni (2005), estudos de Buzzi et al. (2006) e de Manhães e Holanda (2008), verifica-se que 6 de 12 lamas de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO), ou 50% das amostras, foram classificadas como classe IIB - inerte e 50%, como classe IIA - não-inerte para os parâmetros Al, F⁻, Pb, Hg, Cl⁻, Cr, Fe, Mn.

Essa classificação permite que as lamas de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) sejam consideradas resíduos classe IIB ou classe IIA. Porém, é um resultado insuficiente para servir de referência para a elaboração de um plano de gerenciamento por parte das empresas e fiscalização por parte dos órgãos de controle ambiental, por ser obtido a partir de um pequeno número de amostras e de diversas fontes, sendo algumas delas de origem e metodologia de coleta desconhecida. A classificação deste resíduo foi feita de acordo com a norma NBR 10004/2004. Com isso, sugere-se que estudos específicos, abrangendo a toxicidade dos resíduos, devem ser realizados para cada caso.

1.5 | Muscovita

Com base na composição dos pegmatitos já discutido anteriormente, sabe-se que os resíduos gerados na exploração são ricos em mica. A mica engloba uma série de hidróxidos de alumino-silicatos, sendo que, dentre estes, a muscovita é o mais importante, comercialmente, devido às propriedades como resistência à ataques químicos e à choques térmicos.

A fórmula geral para descrever as micas é $X_2Y_4-6Z_8O_{20}(OH,F)_4$, em que X é K, Na, ou Ca, Y é principalmente Al, Mg ou Fe e Z é principalmente Si ou Al e em alguns casos Fe e Ti. As micas podem ser dioctaédricas. No caso da muscovita, 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 (SANTOS, 2009; CAVALCANTE, 2015).

Além da resistência a ataques químicos e térmicos, as principais características que justificam sua versatilidade, são: é quimicamente inerte; possui boa lubrificidade e boa estabilidade à luz ultravioleta; apresenta alta resistência dielétrica e resistividade; é facilmente moldada em diferentes formas e tamanhos, suportando altas temperaturas e, ainda, possui efeito perolizante (DE PAULA e COSTA, 2008).

Na forma de lâminas, a mica é aplicada nas indústrias eletro-eletrônicas, isolante térmico e elétrico. Da mesma forma, as placas de mica de papel são utilizadas na fabricação de secadores de cabelos, máquinas de lavar louças, máquinas injetoras, coletores, além de outras utilidades. As fitas de papel de mica são utilizadas em condutores elétricos, motores e geradores de média a alta tensão. (DNPM, 2002).

A mica moída geralmente tem aplicação na produção de tintas e nas indústrias de materiais de transportes, eletrodos, cerâmica e na perfuração de poços de petróleo. A mica moída a seco é inerte, flexível e não é abrasiva, com grau de brancura de 75%. Devido a essas características, esse produto de mica é muito utilizado em tintas, papel, borracha e plástico.

1.6 | A Aplicação de Resíduos no Setor Polimérico

Como uma alternativa à utilização dos resíduos, surge a indústria polimérica para a aplicação destes na geração de compósitos poliméricos. A adição de cargas minerais aos materiais termoplásticos tem se tornado, cada vez mais, frequente na indústria de polímeros. As cargas são incorporadas aos plásticos visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento e, em particular, reduzindo os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta, fortemente, a sua escolha (RAMOS et al., 1993).

As propriedades de um compósito dependem de alguns fatores, tais como: natureza da matriz, concentração da carga, interação carga-matriz e condições de processamento. No que diz respeito à carga as características mais importantes são seu tamanho e forma, sua capacidade de agir como agente nucleante para a cristalização e sua capacidade de aderir à matriz.

As cargas particuladas adicionadas aos compósitos podem ser reforçantes ou de enchimento, aquelas usadas para modificar as propriedades da matriz polimérica e/ou reduzir custos. As cargas de enchimento são muito utilizadas para diminuir os

custos dos produtos, uma vez que exercem pouca influência nas demais propriedades dos compósitos, podendo conferir, dependendo da natureza destas, principalmente, um aumento no módulo do compósito (KELLY e ZWEBEN, 2002).

Dentre as cargas não reforçantes, se destaca as de origem mineral, utilizadas para substituir parte da matriz e do reforço e, assim, reduzir o custo do produto final. Em um estudo anterior, analisou-se a introdução de diatomita, como carga, no processo de transformação do polietileno. Ensaaios mecânicos, em temperatura ambiente, mostraram que a adição em até 20% de diatomita não provocou redução da resistência à tração do material (SILVA et. al, 2004).

Em determinadas situações, são realizados tratamentos superficiais nas cargas minerais devido à sua diferença de polaridade com relação ao polímero, o que propõe uma melhor adesão carga-matriz. Entretanto, é uma etapa que encarece o produto final, não sendo discutida em algumas aplicações.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade do aproveitamento dos resíduos de muscovita, gerados no beneficiamento de rochas pegmatíticas, na geração de peças de vestuário, à base de poliamida, com controle térmico para atender a população que trabalha sob altas condições de calor.

3 | EXPERIMENTAL

3.1 | Origem dos Materiais

A poliamida 6 Mazmid B261 da Mazzafero Indústria e Comércio de Polímeros e Fibras LTDA apresenta índice de fluidez = 22-35g/10 minutos-ISO 1133 e densidade 1,14 g.cm⁻³.

Os resíduos muscovíticos estudados são oriundos da extração e do beneficiamento de Pegmatitos do Estado da Paraíba, como indica a Figura 6 e foram, previamente, caracterizados por Fluorescência de Raios-x – FRX e Difração de Raios-x – DRX.

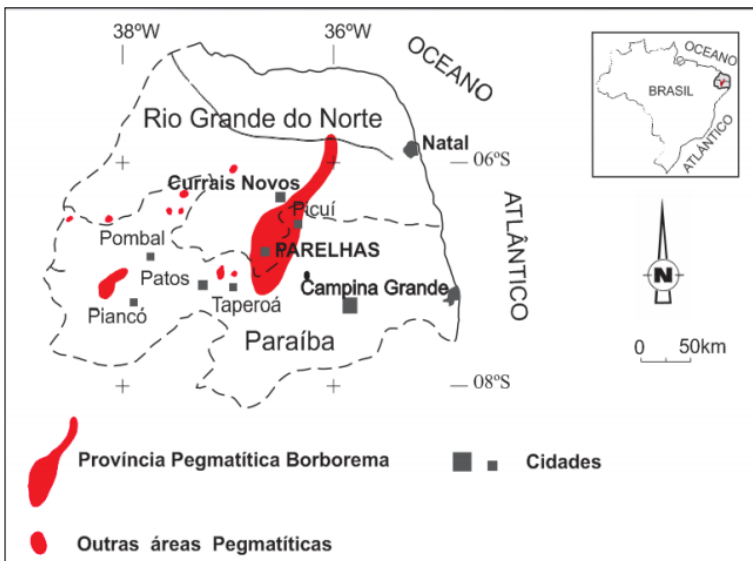


Figura 6. Localização da região de Borborema-Seridó (PB).

3.2 | Tratamento dos Resíduos

Esta amostra foi beneficiada em um trabalho anterior conforme método descrito no trabalho (CASTRO et al. 2014). O mineral já tratado e livre de impurezas foi moído e classificado granulometricamente. Para este estudo, utilizou-se a muscovita na faixa granulométrica de 100 µm.

3.3 | Análise Química e Mineralógica do Resíduo

As amostras foram preparadas por prensagem do material a 20 ton por 3 minutos. As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios X BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de ródio - Rh;

Para obtenção da análise química semiquantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software Spectra plus v.1.6 no modo standardless method, sem curva de calibração específica.

3.4 | Análise Ecotoxicidade do Resíduo

O teste de ecotoxicidade foi realizado com base na norma ABNT NBR 15537. Para tal, no presente trabalho, foram utilizadas as amostras de solo contaminadas com muscovita nos teores de 5, 10, 20, 40, 80 e 100% e um solo controle, artificial ou de referência, não contaminado.

3.5 | Processamento dos Compósitos de Poliamida e Muscovita

Cinco teores foram adotados para a geração dos compósitos: 50%, 70%, 80%, 90% e 95%, em massa de resíduo.

Para o processamento dos materiais na câmara de mistura, estes foram previamente secos (80°C), por 24 h em estufa SALVILAB, e as formulações (Tabela 2) foram processadas em câmara de mistura interna acoplada a um reômetro de torque Haake com rotores do tipo ROLLER contrarrotantes a uma razão de velocidade de 2:3 na temperatura de 220°C. A velocidade dos rotores foi ajustada em 80 r.p.m. O tempo total de mistura foi de 7 min., sendo os 2 min iniciais apenas para o processamento da poliamida, foi determinado a partir da curva de torque *versus* tempo, onde o torque final, expresso em Nm, e a energia específica em J/kg, respectivamente. O cálculo da massa da muscovita e do polímero foi feito em relação ao volume de 69 cm³. Esse valor representa o volume livre da câmara interna, equipada com os rotores, do tipo ROLLER, acoplados ao reômetro de torque, usando o fator de preenchimento de 70%. Os teores dos materiais foram expressos em percentagem (%). Por fim, todas as misturas foram moídas em um moinho de duas facas, da marca SEIBT, com velocidade de rotação de 1.150 r.p.m. As misturas, então granuladas, foram prensadas, inicialmente, em uma prensa hidráulica aquecida a 215°C da marca MARCONI por 15 min a uma pressão de 7 ton e resfriadas em uma prensa a frio, também da marca MARCONI, por 2 min a uma pressão também de 7 ton. A prensagem dispensou molde, utilizando apenas duas folhas metálicas como superfície de contato, com dimensões de 20 cm x 20 cm. Foram utilizadas 10 g de mistura por corpo de prova.

Tabela 2. Composição dos compósitos de Poliamida 6 e muscovita.

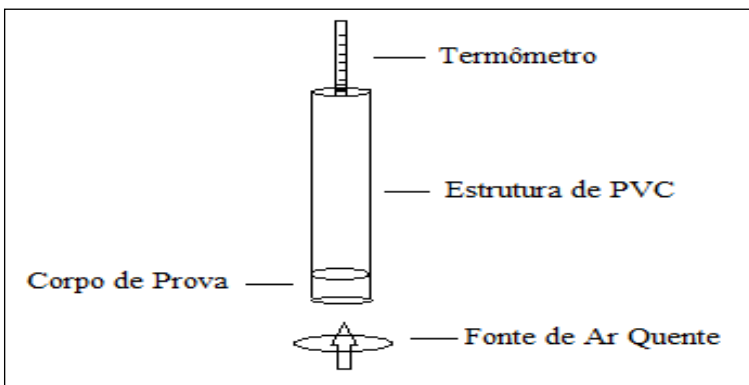
	50% de resíduo	70% de resíduo	80% de resíduo	90% de resíduo	95% de resíduo
Massa PA 6 (g)	47,75	42,85	41,53	40,30	39,70
Massa de resíduo (g)	22,87	30,00	33,23	36,27	37,72

3.6 | Determinação dos Índices Físicos

Os testes que possibilitaram a determinação da porosidade e absorção de água dos corpos de prova foram baseados na norma ABNT NBR 15845-2:2015 .

3.7 | Ensaio de Isolamento Térmico

Em um tubo de PVC de 30 cm de comprimento, as amostras foram posicionadas na extremidade inferior, enquanto um termômetro foi inserido na abertura superior. Posteriormente, uma corrente de ar contínua a 80°C foi aplicada à amostra durante intervalos de 10, 20 e 30 minutos, sendo monitorada a temperatura interna no PVC, conforme a Figura 7.

**Figura 7.** Esquema do teste de isolamento térmico.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Análise Química e Mineralógica do Resíduo

A Figura 8 apresenta o resultado da composição química do resíduo onde se verifica um teor de aproximadamente 60% de sílica e 20% de alumina. Tais resultados estão de acordo com os resultados de composição mineralógica que apontaram a presença de caulim, quartzo e muscovita na composição do resíduo.

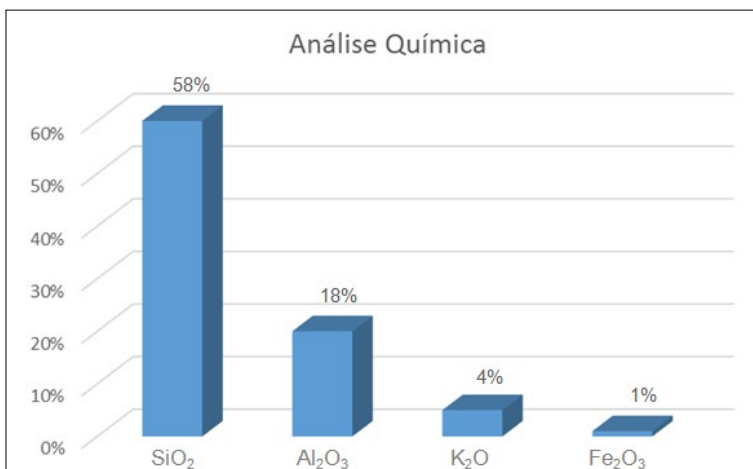


Figura 8. Análise Química do Resíduo.

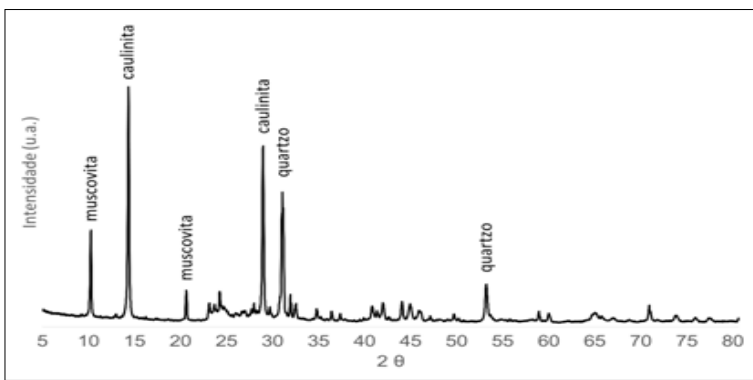


Figura 9. Análise Mineralógica do Resíduo.

4.2 | Análise Ecotoxicidade do Resíduo

Em relação à avaliação ecotoxicológica do resíduo, a Figura 10 apresenta o número de minhocas vivas, que ficaram em contato com o resíduo, ao final do teste. Tal resultado, atesta a utilização do mineral para fins onde o contato com seres vivos é exigido, visto que, a mortalidade dos seres vivos foi de 0%.

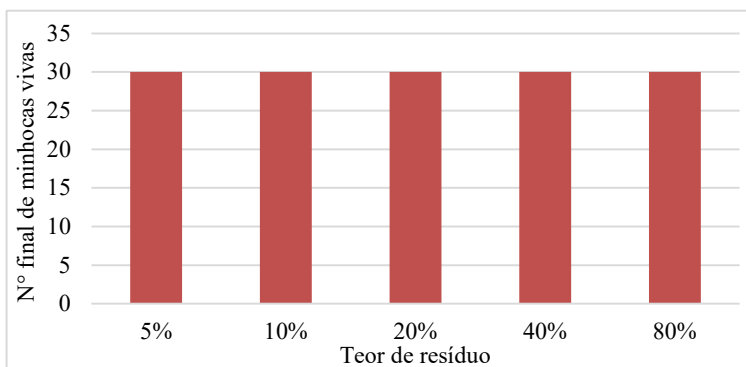


Figura 10. Número de minhocas vivas ao final do teste para cada composição.

4.3 | Processamento dos Compósitos de Poliamida e Muscovita

A Figura 11 apresenta os corpos de prova obtidos a partir da prensagem dos materiais, gerando compósitos com aproximadamente 0,45 mm de espessura. Verifica-se que foi possível a realização do processamento com até 95%, em massa, de resíduo de pegmatito.

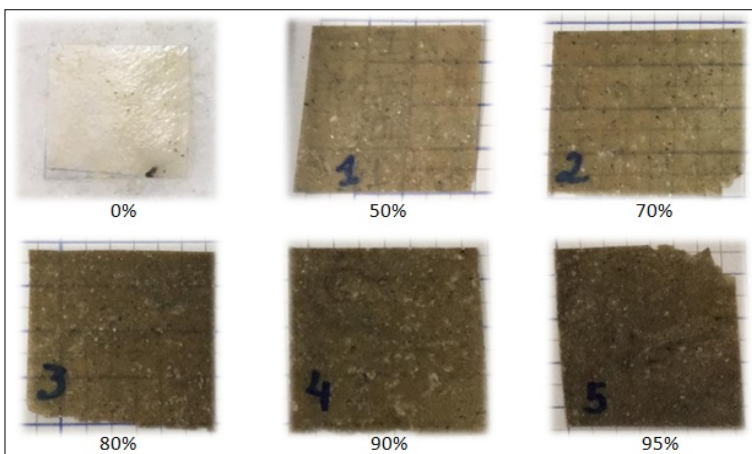


Figura 11. Corpos de prova ordenados segundo sua composição em percentagem de resíduo.

4.4 | Índices Físicos

Observa-se, a partir das Figuras 12 e 13, o comportamento dos índices físicos das amostras, onde se verifica o aumento da porosidade e absorção de água à medida que a muscovita é adicionada na matriz da poliamida, pois esse mineral lamelar permite uma distribuição capaz de formar poros, aumentando, assim, esses índices. No entanto, por se tratar de um material de baixa massa específica, não se observa um aumento,

significativo, dessa propriedade, ou seja, com 50% de carga mineral tem $1,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e ao adicionar-se 95% de carga chega-se no máximo a valores em torno de $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, indicando a leveza do compósito processado.

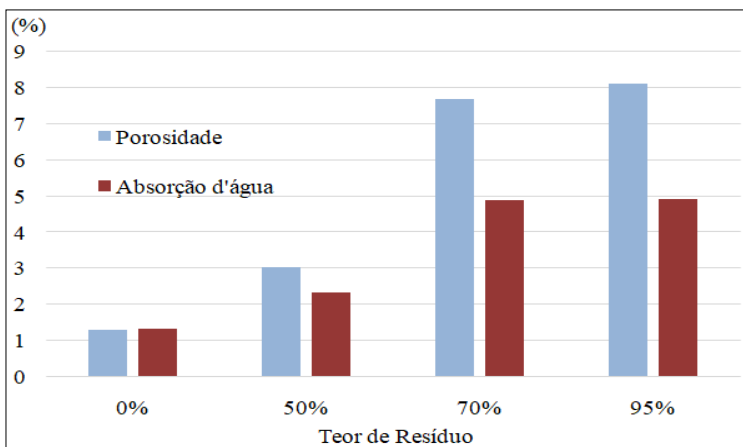


Figura 12. Porosidade e Absorção d'água dos compósitos.

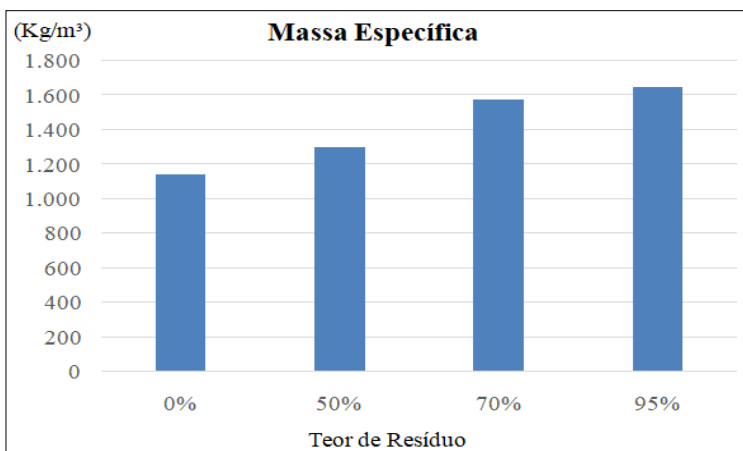


Figura 13. Massa específica dos compósitos.

4.5 | Ensaio de Isolamento Térmico

A Tabela 3 apresenta os valores de temperatura no interior do tubo de PVC, dado um intervalo de tempo e uma quantidade de camadas (cada camada representa 0,45 mm) para cada composição. Verifica-se que com o aumento do percentual de carga, de 50 a 95%, houve uma maior redução da temperatura, o que atesta a propriedade de isolamento térmico conferido ao compósito. A temperatura inicial do tubo encontrava-se em torno de 80°C e quando se utilizava 1 corpo de prova do compósito contendo 50%, em massa, de mica a temperatura reduz-se para 40°C nos primeiros 10 minutos de exposição de calor, estabilizando-se em 30°C após 30 minutos de exposição de calor. Aumentando-se o número de camadas para 2 ou 3, não se observa maior eficácia na redução da temperatura, ficando-se com 30°C novamente, indicando que com 1 camada, ou seja, 0,45 mm de espessura, já há uma redução significativa, de mais de 50%, no valor da temperatura. Verifica-se que o aumento do valor percentual de mica na matriz da poliamida faz com que a temperatura se estabilize em 32°C quando, se utiliza 90% de mica na matriz da poliamida, indicando ser a melhor proporção a ser aplicada para a geração do compósito.

Tabela 3. Temperatura em °C no interior do tubo segundo o número de camadas e composição.

% Muscovita	N° de Camadas	Tempo (minutos)		
		10	20	30
		Temperatura no interior do tubo (°C)		
0%*	1	80	80	80
	2	80	80	80
	3	80	80	80
50%	1	40	34	30
	2	32	30	30
	3	30	30	30
70%	1	36	32	30
	2	31	32	30
	3	30	30	30
80%	1	34	31	30
	2	30	30	30
	3	30	30	30
90%	1	32	31	30
	2	30	30	30
	3	30	30	30
95%	1	36	33	34
	2	33	32	31
	3	30	30	30

*Os ensaios com a poliamida 6 pura, mostraram que o polímero sofreu deformação quando exposto a tal temperatura, nas três diferentes espessuras, permitindo a passagem total da corrente de ar para o interior do tubo.

5 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os resíduos gerados no beneficiamento da rocha ornamental pegmatito, ricos no mineral mica, podem ser aplicados na matriz da poliamida até um teor máximo de 95%, em massa, gerando compósitos com pouca variação da massa específica, variando de $1,30 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a $1,60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e capazes de reter a temperatura do meio em mais de 50%, indicando a viabilidade técnica de formação de peças de vestuário com elevada capacidade de controle térmico.

Recomenda-se, a princípio, a geração de macacões para pessoas que exercem atividades sob forte ação do calor.

6 | AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro para realização desse trabalho, ao CETEM e INT pela infra-estrutura, e a todos do LACON.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para revestimento Parte 2 – Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. ABNT NBR 15845-2:2015.

BEZERRA, M.S.; CARVALHO, V.G.D.; NESI, J.R. Caracterização e mercado dos minerais de pegmatito da Província da Borborema. Recife: CPRM, 1994. 49p. anexo, (Série Recursos Minerais, 5).

BEZERRA, M.S.; CARVALHO, V.G.D. Minerais e Rochas Industriais da Região do Seridó – PB/RN, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional do Recife, 29p, 1997.

BEZERRA, M. SOARES et al. – “PROJETO PEGMATITOS DO NORDESTE ORIENTAL” – CPRM – Sur/Re – 1993 (Relatório Inédito).

BUZZI, D.C. et al. (2006) Caracterização segundo a NBR 10004/2004 de resíduos gerados no beneficiamento de granitos. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8, Anais... Fortaleza, ABES. CD-ROM.

CAMPOS, A.R., Resíduos: Tratamento e Aplicações Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. ISBN: 987-85-8261-005-3. p 433 - 492, 2014.

CANEVAROLO Jr., S.V., Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. ArtLiber Editora, São Paulo, 2006, 2ª edição.

CASTRO K.G.; FRANÇA. C.A. MORAES L.S.; SANTOS S.F. Obtenção e caracterização de compósitos de mica muscovita com polipropileno. Monografia do curso de graduação em tecnologia em Polímeros da UEZO. Rio de Janeiro. Julho, 2014. Orientadora - Dra Shirleny Fontes Santos.

CALVACANTE, P.M.T., BALTAR, C.A.M., SAMPAIO, J.A., 2005, “Mica”, in - LUZ, A.B., LINS, F.A.F., “Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações”, 2 ed., cap. 29, Rio de Janeiro, RJ, Editora CETEM/MCT.

DA SILVA, M.R.R.; DANTAS, J.R.A. A Província Pegmatítica da Borborema–Seridó nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Principais Depósitos Mineraiis do Nordeste Oriental. Série Geologia, n. 24, Seção Geologia Econômica, n. 24, Seção Geologia Econômica, p. 235-304, 1984.

DE PAULA, R.M., COSTA, D.L. Madeira Plástica - Aliando Tecnologia e Sustentabilidade. In – XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba, S.J dos Campos, 2008.

DNPM/CE – MICA (MOSCOVITA). Agência Nacional de Mineração, 2002.

FILHO, H.F.M.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C.G.; Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais, Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, v. 28-2/2005, p. 139-151.

IBGE, Diretoria de Pesquisa, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2014-2015. 5. lida, I. Ergonomia Projeto e Produto. Ed.; Edgar Blücher Ltda. São Paulo, 2005.

KELLY, A.; ZWEBEN C. Comprehensive Composite Materials. Elsevier, Oxford, 1ª ed, v. 1, cap. 6, 2002.

LIMA, A.B.T. Aplicações de Cargas Mineraiis em Polímeros, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil). 2007.

LORENZONI, D.I. (2005). Tijolos prensados produzidos com resíduos sólidos industriais: uma caracterização segundo a NBR 10004/2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

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. Séries Rochas e Mineraiis – CETEM/MCT.

MAGACHO, IDENISIA, Identificação e gerenciamento dos Resíduos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais localizadas no município de Nova Várzea/Es, XXX congresso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, Novembro de 2006.

MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. (2008) Caracterização e classificação de resíduo sólido “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1301-1304.

MORAES, R.O.; HECHT, C. Geologia do Feldspato, Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM, v. 4b, p.319-326, 1997.

RAMBERG, H. The Origin of Metamorphic and Metasomatic Rocks: A Treatise on Recrystallization and Replacement in the Earth's Crust. University of Chicago Press, 1958. 317 p.

RAMOS, S.M.L.S. et al. Efeitos da estabilização do Polipropileno nas propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas de compósitos de Polipropileno/Atapulgita, Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.3, n. 4, p. 26-31, 1993.

ROLF, P.A.M.A. Geologia da Província Tântalo-glucínifera da Borborema. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1945. 6p. (Boletim 73).

SANTOS, S.F. “Síntese de Pigmentos Perolizados a Base de Mica Muscovita do Seridó.” Tese doutorado – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2009.

SCORZA, E.P. Província Pegmatítica da Borborema (Nordeste do Brasil). DNPM/DGM (Boletim 112). Rio de Janeiro, 55p.,1944.

SILVA, F.E.L.; MARTINELLI, A.E.; MELO, D.M.A.; MELO, M.A.F.; NASCIMENTO, R.M.; CARVALHO, L.H. Avaliação Microestrutural e Mecânica de Compósitos Polipropileno-diatomita. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2004, Porto Alegre. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2004.

VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B. et al. 2003. Seridó Group of NE Brazil, a Late Neoproterozoic pre- to syn-collisional flysch basin in West Gondwanaland: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages. *Precambrian Research*, 127, 287–327.

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 2019, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 340 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 Tecnologia Ambiental

STA-113 – **Molecular modeling study of biocides interaction with talc, the main mineral componente of soapstone monuments.** Julio Cesar Guedes Correia, Lucas Andrade Silva, Fernanda B. Da Silva, Roberto Carlos C. Ribeiro, 2020.

STA-112 – **Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais.** Alexandre Moni Pereria, Lucas Andrade Silva, Thiago Guedes Garrot, Julio Cesar Guedes Correia, Alexandre Nelson Martiniano Carauta, 2020.

STA-111 – **Disgestão de amostras geológicas para quantificação de elementos das terras raras: Uma abordagem sustentável.** Andrey Linhares B. de Oliveria, Manuel Castro Carneiro, Arnaldo Alcover Neto, Julio Carlos Afonso, Maria Inês C. Monteiro, Lillian Irene D. da Silva, Lília da Silva, 2020.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
E-mail: 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.