

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Aproveitamento de Resíduos Oriundos da Lavra e do Beneficiamento do Mármore Bege Bahia visando a Geração de Compósitos Poliméricos

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

Presidente

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Celso Pansera

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

Emília Maria Silva Ribeiro Curi

Secretária-Executiva

Adalberto Fazzio

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processos Minerais

Durval Costa Reis

Coordenador de Administração

Cosme Antonio de Moraes Regly

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

Ronaldo Luiz Corrêa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN – 978-85-8261-035-0

STA - 82

Aproveitamento de Resíduos Oriundos da Lavra e do Beneficiamento do Mármore Bege Bahia visando a Geração de Compósitos Poliméricos

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

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

Márcia Gomes de Oliveira

Eng. Química, D.Sc. em em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela EQ-UFRJ. Pesquisadora do Instituto Nacional de Tecnologia – INT.

CETEM/MCTI

2015

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

João Henrique de Castro Rocha

Programação Visual

Valéria Cristina de Souza

Editoração Eletrônica

Andrezza Milheiro

Revisão

Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição.

Aproveitamento de resíduos oriundos da lavra e do beneficiamento do mármore bege Bahia, visando a geração de compósitos poliméricos / Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Márcia Gomes de Oliveira. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.

66p.:il (Série Tecnologia Ambiental, 82)

1. Mármore bege bahia. 2. Resíduos. 3. Compósitos poliméricos. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Oliveira, Márcia Gomes de. IV. Título. V. Série.

CDD – 553.5

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Arranjos Produtivos Locais - APLs	9
1.2 O CETEM e os APLs	10
1.3 APL do Mármore Bege Bahia	10
1.4 A Geração de Resíduos do Mármore Bege Bahia	29
1.5 Aplicação de Resíduos no Setor Polimérico	40
2 OBJETIVO	44
3 EXPERIMENTAL	45
3.1 Origem dos Materiais	45
3.2 Tratamento dos Resíduos	46
3.3 Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos de Mármore	46
3.4 Análise Química e Mineralógica do Resíduo	46
3.5 Determinação da Massa Específica	47
3.6 Ensaio de Tração dos Compósitos	47
3.7 Ensaio de Resistência ao Impacto Izod a 23°C dos Compósitos	47
3.8 Realização dos Ensaios de Alterabilidade	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos	50
4.2 Análise Química e Mineralógica do Resíduo	51

4.3 Massa Específica	53
4.4 Módulos de Tração	54
4.5 Resistência ao Impacto Izod a 23°C	57
4.6 Resultados de Alterabilidade	58
5 CONCLUSÕES	59
6 AGRADECIMENTOS	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

RESUMO

Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento do Mármore Bege Bahia chegam a cerca de 70%, em massa, e, além de gerar um grande impacto ambiental, torna-se um problema para os produtores que os estocam sem qualquer forma de utilização viável. No entanto, os resíduos apresentam características adequadas, como granulometria ultrafina, ausência de limalhas de ferro e baixos teores de sílica, para aplicação como carga em diversos setores, como, por exemplo, na indústria polimérica. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica da aplicação de resíduos gerados na lavra do Mármore Bege Bahia como carga na matriz do polipropileno (PP). Foram gerados corpos de prova contendo até 40%, em massa, de resíduo na matriz do PP, que foram caracterizados por meio de avaliação da massa específica, tração e resistência ao impacto Izod. Os resultados indicaram aumento progressivo da massa específica, chegando-se a valores máximos de $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ com 40% de carga. Em termos de resistência mecânica, a tensão de escoamento apresenta pouca variação com o aumento de carga, apresentando um valor médio de 30 MPa. Já a deformação na ruptura diminui de 300% (ausência de carga) para cerca de 50% (40% de carga). Por fim, observa-se que a resistência ao impacto Izod diminui de 35 MPa (ausente de carga) para 17 MPa (40% de carga). Pode-se concluir que a adição de resíduo oriundo do Mármore Bege Bahia favorece a resistência mecânica dos compósitos de PP sendo tecnologicamente viável tal aplicação.

Palavras-chave

Mármore Bege Bahia, resíduo de mármore mege Bahia, compósitos poliméricos.

ABSTRACT

The waste generated in the cutting and processing of Bege Bahia Marble reach about 70%, by weight, and in addition to generating a large environmental impact becomes a problem for producers who stock them without any sort of feasible use. However, the wastes have suitable characteristics, such as ultrafine particle size, absence of iron filings and low silica content, for use as filler in various industries, such as the polymeric industry. Thus, the objective of this study was to assess the technical feasibility of using the waste generated in the mining of Beige Bahia Marble as filler in polypropylene matrix (PP). Specimens were generated containing up to 40% by weight of such residue in the PP matrix, which were characterized by measuring the density, traction and Izod impact strength. The results showed progressive increase in density, reaching the maximum values of 1.6 g.cm^{-3} by adding 40% of that residue. In terms of mechanical strength, yield strength shows low variation as the load increases, with an average value of 30 MPa. Whereas the elongation at break decreases from 300% (without adding residue) to nearly 50% (by adding 40% of residue). Finally, it is noted that the Izod impact strength decreases from 35 MPa (without adding residue) to 17 MPa (by adding 40% of residue). As a conclusion, the addition of residue out of Bege Bahia marble enhances the mechanical strength of PP composites being such application technologically feasible.

Keywords

Bege Bahia Marble, polymeric composite, Bege Bahia Marble residue.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Arranjos Produtivos Locais - APLs

Os APLs, segundo a política do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, são definidos como aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e vínculo entre si e com instituições públicas e privadas e outros atores sociais, entre os quais se estabelecem sinergias e parcerias, envolvendo a sociedade, os governos e as unidades produtivas.

Os APLs funcionam desenvolvendo e inovando a tecnologia local e apoiando os processos coletivos de aprendizagem através de cursos seminários entre outros, transferindo tecnologia, organizando-os e integrando-os entre si, através de sistemas dinâmicos de colaboração mútua e de formas associativistas/cooperativistas.

A Figura 1 apresenta os APLs apoiados pelo Governo Federal, onde se destacou o APL do mármore Bege Bahia.



Figura 1. APLs apoiados pelo Governo Federal.

1.2 | O CETEM e os APLs

O CETEM atua na modernização dos métodos de extração e processos de beneficiamento com tecnologias inovadoras que aprimoraram as técnicas de lavra e processamento do minério, bem como o aproveitamento de rejeitos visando minimizar os impactos ambientais.

Desta forma atua sobre fatores que afetam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade dos micro e pequenos produtores, contribuindo para o desenvolvimento sustentável regional.

1.3 | APL do Mármore Bege Bahia

A Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo a mais completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas mais famosas rochas azuis, passando para uma variedade de cores incluindo-se mármore, granitos, arenitos e conglomerados.

O calcário, conhecido comercialmente como Bege Bahia, é um material do tipo “calcrete” ou caliche, abundante na região do rio Salitre. Esta rocha é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, e o calcrete provém de alteração de calcários de formação salitre, de ambiente marinho. É identificado como mármore quando, além do padrão estético tão apreciado no Brasil, evidenciam-se as propriedades físicas e tecnológicas do material utilizado como rocha ornamental.

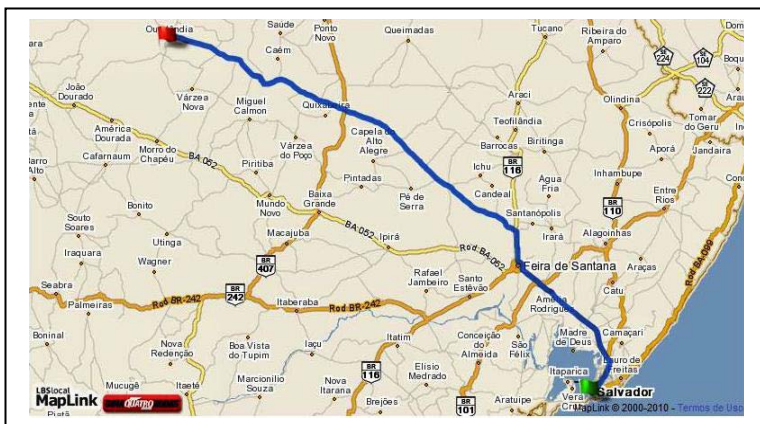
Descoberto há mais de 50 anos, como rocha para revestimento, o mármore Bege Bahia teve sua extração e comercialização iniciada a partir da década de 70. Inicialmente extraído em bloquetes, para recorte de pequenas peças, desde

sua inserção no mercado já recebeu vários nomes, até ficar consagrado como Bege Bahia, uma referência à cor da rocha e seu Estado de origem.

A extração e produção do mármore Bege Bahia, teve início com Guilhermino Jatobá, Gian Franco Biglia e José de Castro que, sem dúvidas, enfrentaram desafios enormes à época para a extração e beneficiamento da rocha, em função da infraestrutura precária em relação ao transporte, energia, mão de obra, comunicação e inexistência de tecnologia e insumos apropriados.

Extraído e beneficiado na região de Orolândia, região centro-norte do Estado da Bahia, no vale do Rio Salitre, o mármore Bege Bahia corresponde petrograficamente ao calcário não metamórfico.

O Município de Orolândia situa-se na macrorregião centro-norte da Bahia e no Território de Identidade de Piemonte da Chapada Diamantina (Alto do Vale do Rio Salitre) pertencendo, de acordo com Plano Diretor de Regionalização da Saúde do Estado da Bahia, à macrorregião Centro Norte como município satélite da microrregião de Jacobina, integrante da mesorregião Centro-Norte Baiano. O acesso a partir de Salvador se realiza pelas rodovias pavimentadas BR-324, BR-116 e BA 368 num percurso total de 415 km. Para circulação dentro do município as vias são de terra ou cascalho (Figura 2). Orolândia limita-se a leste com o Município de Jacobina, à sul com Várzea Nova e Morro do Chapéu, à oeste com Sento Sé e Umburanas, e ao norte com Mirangaba. A área municipal é de 1.333 km². A sede municipal tem altitude de 576 metros e coordenadas geográficas 10°58'00" de latitude sul e 41°01'00" de longitude oeste.



Fonte: ASSOBEGE, 2012.

Figura 2. Mapa de acesso à Ourolândia.

As jazidas ocorrem na formação geológica “caatinga”, nas várias tonalidades da cor Bege. De ocorrência calcária plana e sedimentação secundária, as pedreiras são cobertas por uma grande quantidade de casqueiro, que é removido para abertura de poços, tanto por meio do rebaixamento de pisos quanto do tombamento de bancadas de até seis metros. Nesses casos, é utilizado o fio diamantado, buscando sempre o maior aproveitamento da matéria prima e pisos mais compactados sem infiltração. Após a extração dos blocos, ocorre a seleção da matéria prima.

O mármore Bege Bahia tem a ocorrência média de 20% de materiais muito claros e outros 80% claros, o que demonstra a beleza particular da rocha natural (Figura 3) e características para atender as mais diversas tendências.



Figura 3. Aspecto macroscópico do mármore Bege Bahia.

A região árida de Ourolândia foi impulsionada pelo setor de rochas e evoluiu muito nos últimos 10 anos. A instalação da indústria de beneficiamento próxima às pedreiras viabilizou a extração, uma melhor seleção da matéria prima, redução dos custos de logística em aproximadamente 25% possibilitando agregar valor aos materiais, e o fim da atuação de mero exportador de matéria prima para outros Estados.

O setor de rochas de Ourolândia permitiu ainda uma grande inclusão social e a formação profissional de aproximadamente 700 pessoas diretamente, com um grande contingente de mão de obra feminina na área de acabamento e pequenas peças. A tecnologia avançada e *know-how* de padrão internacional gera outros muitos benefícios ao município, tais como: transporte, energia elétrica, telefonia fixa, sistema de telefonia celular e fomento ao comércio local. Entre 2001 e 2002 foram instalados os dois primeiros teares diamantados, dando início ao “Pólo Produtivo do Mármore Bege Bahia”. Atualmente, o parque industrial conta com aproximadamente 60 empresas, onde estão instalados 17 teares diamantados nacionais e

importados, politrizes e linha de ladrilhos. A produção mensal do pólo de Ourolândia soma aproximadamente 100 mil metros quadrados de chapas, ladrilhos e revestimentos em geral.

A aparência rústica do mármore aceita os mais variados tipos de acabamento (*in natura*, levigado, escovado, apicoado, flameado, jateado e polido) e diversas formas de resinagem, além de chapas de grandes tamanhos, espessuras variadas e sob medida.

A qualidade que o mármore Bege Bahia adquiriu ao longo do tempo com o uso de resinas e cristalizadores o torna competitivo com materiais provenientes de várias partes do mundo, como Espanha, Egito, Turquia e Peru.

A versatilidade, beleza e qualidade do Bege Bahia fizeram com que o material caísse no gosto dos especificadores e passasse a ser utilizado em projetos de arquitetura e design de interiores.

As jazidas e ocorrências do mármore Bege Bahia se distribuem entre os municípios de Ourolândia, Campo Formoso, Mirangaba, Jacobina e Umburamas, no centro norte da Bahia. Os principais pólos de extração do mármore Bege Bahia, em ordem crescente de importância, são os de Curral Velho (Campo Formoso), Mirangaba e Ourolândia. As medidas nesses municípios somam um volume cerca de 6.820.000 m³.

1.3.1 | O Processo de Lavra

Os métodos de extração do mármore Bege Bahia variam desde manuais, sem o mínimo cuidado ambiental, a avançados. As técnicas de transformação de blocos em peças ornamentais são também variáveis. Assim, por meio do APL do mármore Bege Bahia, onde o Cetem teve grande participação e

coordenação, foi proposto a criação de um pólo industrial entre Ourolândia e Jacobina, para o desenvolvimento sustentável da lavra e do beneficiamento.

Coexistem na região estudada empreendimentos relacionados ao recurso mineral denominado de Mármore Bege Bahia, indo da “lavra” extração dos blocos ao “beneficiamento” que consiste no desdobramento dos blocos, polimento das chapas até o artesanato agregando valor ao produto final. A Associação dos Empreendedores de Mármore Bege Bahia – ASSOBEGE – reúne entre seus associados representantes das várias modalidades de empreendimentos atuantes na área. (Tabela 1) (ASSOBEGE, 2012).

Tabela 1. Empreendimentos por atividades em Ourolândia.

Atividades	Quantidades
Lavra	16
Desdobramento	11
Resinagem	09
Polimento	17
Ladrilhamento	12

Segundo informações da ASSOBEGE (2014) existem cerca de 60 empresas cadastradas no cadastro Mineiro/SIGMINE do DNPM na região foco do trabalho com concessão de lavra ou autorização de pesquisa no ramo da extração. As principais são: Icesa Indústria Comércio e Empreendimento Ltda., Brastone Indústria e Mineração, Mármore da Bahia S/A, Flama – Fábrica de Laminados de Mármore S/A, Artemio de Almeida Mascarenhas, MS Mota Mármore ME, Granibege – Granitos e Mármore Ltda., Bege Bahia Mármore Ltda., José Roberto Alves, Claudio Rogério Martins, Egamarmores Ltda.,

Rodrigo Andrioti Gama, Hércules de Almeida Hemerly, Rocha Mármore BB, Celidalva Oliveira Jatobá, Muller & Menchen Ltda., Rica Mármore Bege Bahia Ltda., Brasil Quarries Importação e Exportação Ltda., Zenildo Gomes da Costa, Imegra Indústria de Mármore e Granitos Ltda., Pietrine Serviços em Pedras Ornamentais Ltda., Maria Conceição Alves Carla Patrícia Gomes Coelho, Luiz A. de Menezes, Cooperativa dos Mineradores de Pequena Escala de Ouroândia e Região, Rogério Bezerra, Ind. e Mineração de Mármore e Granitos Ltda., Rica, Renilza da Costa Ferreira e Dimármore Ltda.

De acordo com ASSOBEGE (2012) a extração mineral em Ouroândia e Jacobina é desenvolvida a céu aberto, podendo ser enquadrada, de acordo com a tecnologia, em três grupos: lavra mecanizada, lavra semi-mecanizada e lavra manual. O processo de extração compreende as seguintes etapas: i) Desmatamento e remoção de todo material estéril de modo a criar praças semi-planas, cuja área dependerá da projeção da produção da jazida; ii) realização da lavra através do planejamento das bancadas sob forma de degraus, individualizando-se pranchas nas dimensões de 25m de comprimento por 1,70m de largura e 1,55m de altura compreendendo uma produção em torno de 10 blocos por prancha e dos acessos visando o transporte do minério (blocos de mármore) e do resíduo.

O emprego de explosivos foi abandonado em virtude do dano provocado na camada de calcário caatinga, de acordo com informações das empresas associadas à ASSOBEGE. Entretanto, o explosivo (pólvora/clorato) é ainda utilizado nas extrações manuais desenvolvidas por garimpeiros (lavra clandestina). A metodologia empregada nos empreendimentos mecanizados e semi mecanizados são similares, diferindo nos

equipamentos utilizados. A variedade de combinações de técnicas de extração do mármore registradas permitiu agrupar a lavra em 3 (três) classes, que serão conceituadas a seguir:

Lavra Mecanizada

É aquela em que são utilizados um ou mais métodos de corte, aliando equipamentos mais sofisticados ou em maior quantidade, visando uma produção acima de 1.500 m³/mês. Normalmente, a lavra é desenvolvida em várias bancadas. Este tipo de lavra possibilita um avanço mais racional das frentes e uma produtividade maior. Desenvolve-se, na maioria das vezes em cavas amplas e atingem profundidades correspondentes a 2 ou 3 pisos.

Lavra Semi-mecanizada

Nesta classe encontram-se as jazidas onde basicamente o corte é realizado com fios helicoidais, utilizando um ou no máximo três conjuntos de linhas. Algumas jazidas possuem pá carregadeira e guincho de arraste. O içamento dos blocos é via de regra rudimentar. O desenvolvimento das frentes é lento, a produção é baixa, devido, principalmente à dificuldade de remover o rejeito das frentes de lavra. A utilização de fios helicoidais vem sendo substituída por fios diamantados pelo fato do custo/benefício mostrar-se bastante favorável para tal decisão. Observa-se em algumas frentes a utilização de equipamentos de corte com fio diamantado rudimentar.

Lavra Manual

É o processo mais simples, utiliza um compressor para furação e posterior carregamento dos furos com pólvora ou clorato para separação dos blocos. Em alguns locais a furação é realizada

manualmente, com ferros elaborados e apontados pelos próprios garimpeiros. A produção é bastante baixa e normalmente realiza-se onde ocorrem: relevo positivo ou blocos rolados.

Na lavra manual os serviços são desenvolvidos sem equipamentos ou utilizam máquinas antigas e adaptadas. Instalam-se, preferencialmente, nos locais de concentração de blocos e com relevo positivo. A lavra manual é desenvolvida em duas linhas distintas: a primeira é caracterizada pela preocupação do planejamento das atividades em relação à extração mineral e com a proteção ambiental. A segunda é praticada por garimpagem, sem nenhum cuidado técnico ou cobertura legal, ocorrendo de forma aleatória. A metodologia aplicada na extração mineral, nas lavras mecanizadas e semi mecanizadas, compreende a utilização de equipamentos e máquinas para o desenvolvimento da jazida. A lavra é realizada através de diversas operações combinadas, empregando-se equipamentos do tipo: fio helicoidal, perfuração contínua e fio diamantado.

Aborda-se a seguir os 3 (três) métodos de extração constatados nas lavras:

Corte com fios helicoidais

É o processo mais antigo e apesar de ser considerado obsoleto por muitos mineradores ainda é um método muito utilizado no pólo marmífero da Bacia do Rio Salitre. O método de corte por meio de fio helicoidal consiste no emprego de um cabo de aço com diâmetro aproximado de “1/4” que percorre um circuito fechado com cerca de 1.000 a 1.500m de extensão, guiados por uma série de polias dispostas adequadamente nas frentes

de exploração da pedreira. (Figura 4) Em cada frente são utilizadas 03 linhas horizontais que se eqüidistam uma da outra cerca de 1,60m, sendo que a primeira (superior) fica aproximadamente a 0,5m da superfície, na primeira bancada. O fio ao entrar em contato com a rocha produz por fricção cortes verticais ou horizontais que secciona o corpo rochoso em partes distintas. Este trabalho de atrito por fricção é aumentado com uma mistura de areia quartzosa e água, que é alimentada no ponto de ataque do fio, e este, no seu movimento em circuito fechado transporta a mistura abrasiva por toda extensão da fenda produzida na rocha. As polias guias são instaladas em postes de aço, que podem ser fixos ou móveis, servindo apenas para mudar a direção do fio, denominados de montantes serradores. Estes efetuam a manobra de por o fio em contato com a rocha e além da polia superior utilizada como guia do fio, possuem outra que se desloca ao longo de seu comprimento, acionada por uma catraca. Os montantes serradores são instalados em poços e galerias (com diâmetro médio de 2m).

Corte com fio diamantado

O equipamento de corte por fio diamantado é composto de três elementos distintos:

Central de fornecimento de água - composta de um reservatório capaz de fornecer 2.000l/h.

Máquina propriamente dita - composta de um chassi montado sobre trilhos e uma polia (com diâmetro de 0,80m) acionada por um motor elétrico ou diesel. Contém também motor para controlar o avanço do corte e tração no fio, movimentos de rotação e translação.

Fio diamantado - é composto de um cabo de aço central, no qual são colocadas as “pérolas” (anéis com partículas de diamante sintético) com 10 ou 11mm de diâmetro e 5mm de comprimento. As pérolas são separadas por intermédio de molas (recobertas ou não, por plástico e/ou borracha) para garantir a união mesmo que o cabo se alongue.

O fio diamantado é introduzido em dois furos ortogonais de forma a contornar a massa rochosa a ser serrada, e em seguida é fechado o circuito, isto é, unidas as duas pontas do fio e ajustada a polia da máquina. Posto em movimento, o fio é refrigerado na sua extensão de contato com a rocha por injeção de água. Normalmente nos circuitos de serragem vertical são utilizados de 30 a 50m de fio para serragem de massas de 3 (três) a 6 (seis) m de altura (com formação de taludes de 90º de inclinação) por até 15 (quinze) metros de comprimento. Estes cortes separam “talhadas” que variam de 1,6m a 2,4m de largura (dimensões dentro dos padrões dos teares). Estas massas são recortadas de forma similar às massas cortadas com os fios helicoidais. Nos circuitos horizontais é necessário adicionar polias auxiliares para uma melhor performance no corte.

Corte com perfuração contínua

Essa operação consiste em subdividir o prisma ou prancha em paralelepípedos regulares que, efetivamente, constituir-se-ão, após pequenos acabamentos posteriores, nos blocos para a comercialização. As medidas ideais desses blocos ficam situadas dentro dos limites de capacidade dos teares e/ou talha blocos.

O esquadrejamento depende naturalmente dos cuidados na marcação dos furos para a subdivisão das pranchas em blocos, visando o melhor aproveitamento possível. Para tanto é preciso pessoal treinado e equipamentos apropriados, de forma que os blocos saiam das pranchas praticamente prontas. Com régua e esquadros de madeira ou metal procurar-se dividir a prancha em retângulos aproximadamente iguais, visando à manutenção da espessura da prancha ou fatia como a terceira dimensão (ASSOBEGE, 2012).



Figura 4. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 5. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 6. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 7. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 8. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 9. Método de extração do mármore Bege Bahia.

1.3.2 | Beneficiamento

O beneficiamento engloba as atividades de serragem (desdobramento), estucagem, levigamento, resinagem, polimento, corte e acabamento.

O Desdobramento

A serragem do bloco de mármore constitui a primeira fase do beneficiamento do produto. O processo consiste no desdobramento de materiais brutos extraídos nas pedreiras em forma de blocos com dimensões variando de 5 a 10 m³. Os blocos são colocados em teares para sofrer uma série de cortes paralelos produzindo chapas. A serragem nos teares é executada através de um quadro com fixação de laminas que desenvolvem movimentos retilíneos, sobre a rocha. O processo de serragem nos teares utiliza a água, despejada continuamente sobre a rocha, para limpeza do corte e resfriamento das lâminas.



Figura 10. Desdobramento do mármore Bege Bahia.

Inicialmente, eram empregados os chamados teares convencionais que utilizavam na serragem do mármore lâminas de aço, cujo quadro com 80 lâminas por tear, e comprimento de 3,74m e 4,0 mm de espessura. O número total de lâminas no quadro depende, dentre outros fatores, das dimensões do bloco e da espessura final das chapas. Neste equipamento utilizavam-se para resfriamento das lâminas e para auxiliar na serragem uma polpa constituída de água, granalhas de ferro e cal.

Nos teares diamantados, apesar de possuir a mesma estrutura física dos equipamentos, ocorre o aumento da produtividade porque há redução do tempo de serragem, conseqüentemente redução do custo operacional. Ambientalmente o processo é mais limpo porque só é utilizada água no processo descartando o uso de cal e da granalha. Este pequeno detalhe viabiliza a reutilização da água por um período mais longo e a geração de resíduos sem contaminantes. Os teares diamantados permitem obter placas mais homogêneas na espessura.

No que tange ao ramo do desdobramento das rochas de mármore Bege Bahia, que é realizado por meio de teares instalados nas serrarias, existem hoje 11 empresas, sendo: MS Mota Mármore (2 teares); Rogério Bezerra dos Santos (1 tear); Rocha Mármore Bege Bahia Ltda. (2 teares); Bege Bahia Mármore Ltda. (3 teares); Pietrine Serviços em Pedras Ornamentais Ltda. (1 tear); Begegran Ltda (1 tear); Polistone Mármore Ltda. (1 tear); Travertino da Bahia (2 teares); Mineração Granibegé Granitos e Mármore Ltda. (1 tear); Emerson Megia Iglesias Sinal ME (2 teares) e R Gomes Santos Mota ME (1 tear). Dessa forma, atualmente, existem 16 teares em funcionamento para o desdobramento do mármore Bege Bahia (ASSOBEGE, 2012).

Estucagem

Nesta etapa as chapas recebem os primeiros retoques, preenchendo todas as pequenas cavidades ou espaços vazios que estão presentes em todas as chapas, pois, os vazios presentes, é uma característica física deste produto. Para resolver este problema são utilizadas colas especiais, de forma manual por operadores treinados e equipados com mascaras e luvas especiais, que garantem um acabamento preciso e resistente que será a base para as etapas seguintes.

Levigamento

Nesta etapa a superfície da chapa recebe acabamento com rebolos abrasivos. Trata-se de um acabamento semi-polido, adequado a áreas internas e externas. Neste momento do processo produtivo a chapa já pode ser comercializada como piso anti-derrapante ou segue para as etapas seguintes.

Resinagem

Nesta etapa a chapa recebe uma camada de resina especial, (resina poliéster orto-tereftálica insaturada diluída em monômero de estireno), para cobrir todos os poros do material e depois seguir para as etapas seguintes.

Polimento

Esta etapa caracteriza-se pelo acabamento final das chapas através das ações de desbaste, polimento e lustro. O desbaste consiste no desgrosso das chapas, com a formação de superfícies planas e paralelas. O polimento (desbaste secundário ou fino) realiza o fechamento dos poros entre os grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais

impermeável que a de uma face natural da mesma rocha. O lustro é o acabamento final onde se utiliza uma cera específica para dar o brilho nas chapas. Observe-se que em alguns casos ocorre a verticalização, ou seja constatou-se empresas que extraem, desdobram o beneficiam a placa. Nestes casos o polimento é executado por equipamentos mecanizados muitos automatizados. O polimento é, na maioria das vezes, realizado através de equipamentos manuais.

As empresas que executam o polimento são: MJ Bege POLIDO Mármore Ltda, MM Mármore Granito Ltda, Comercial de Mármore Nova Descoberta Ltda, JMM – Mármore e Granito, Begegran Ltda, Travertinos da Bahia Ltda, Bege Bahia Mármore Ltda, Fladmar Fábrica de Ladrilhos e Mármore Ltda, Igramar, Universal Bege Bahia, MARGRAN – Mármore e Granito Ltda, Polibege Mármore e Granito Ltda, Emerson Megia Iglesias Sinal ME, BIC Santo Antônio, Leila Taine de Lima e Silva, Vieira Mármore Ltda, José Carlos Ribeiro dos Santos e Cia Ltda, G Silva de Jesus Mármore, Carla Cinara da Silva Luz, Ourobege Mármore Ltda, VSP de Souza Mármore ME e MARGRAN (ASSOBEGE, 2012).

As chapas polidas são amplamente aplicadas, sobretudo, para concepção de projetos de bancadas, tampos de mesa, mobiliário e revestimento. Uma tendência atual na arquitetura é a especificação do material também numa forma mais rústica, com a utilização de chapas brutas e ou escovadas/envelhecidas. Outra aplicação frequente é em projetos para a área externa, como bordas de piscinas, devido à característica antiderrapante e térmica do material (ROCHAS DE QUALIDADE, 2009).



Figura 11. Resinagem do mármore Bege Bahia.

Corte e Acabamento Final

Esta é a última etapa do beneficiamento, onde as chapas são cortadas nas dimensões que o mercado consumidor exige para sua utilização. Este processo é realizado por máquinas de corte a disco diamantado, manuais ou semi-automáticas. O acabamento final está condicionado às exigências do mercado de rochas ornamentais e é fortemente dependente do comportamento geral da indústria da construção civil. A segmentação da cadeia produtiva do setor é refletida no mercado consumidor, pois existe uma cadeia de comercialização em que tanto o minério bruto “*run of mine*” – blocos – como produtos com valor agregado – chapas polidas – são absorvidos.

1.4 | A Geração de Resíduos do Mármore Bege Bahia

A retirada de blocos para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, gerado pela quebra das peças durante o corte, e resíduos finos que 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 canalizada diretamente para os rios e lagos, ou são acumuladas nas serrarias ou pedreiras (FARIAS, 1995). No que tange ao processo de extração do mármore Bege Bahia pode-se verificar das Figuras 11 a 15 depósitos do resíduo do mármore Bege Bahia em Ourolândia – BA.

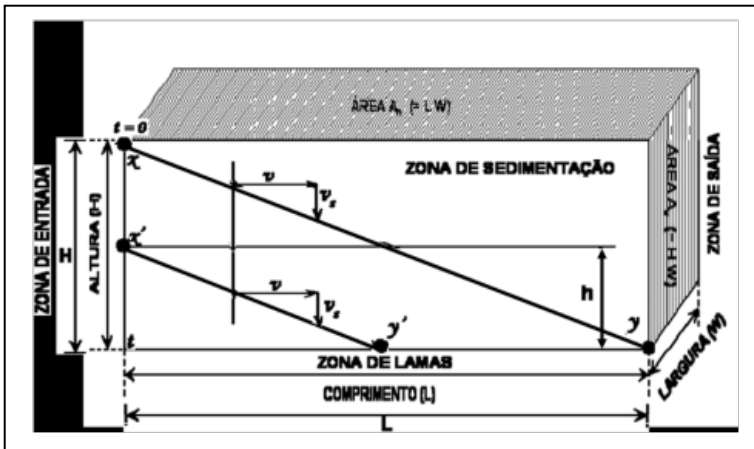
O desdobramento e o polimento ocorrem em vias úmidas e tem como consequência direta a geração de efluente. No desdobramento o efluente é composto de água e resíduo sólido (pó de calcário) oriundo do bloco que está sendo serrado. A serragem origina, também, fragmentos de calcário, conhecidos como casqueiro (laterais externas do bloco) assim como pedaços de chapas quebradas durante o processo. Esses resíduos sólidos não são compatibilizados como integrante do efluente. Em Ourolândia, atualmente, operam 16 (dezesseis) teares, todos diamantados, variando no porte entre os teares “normais” com capacidade para blocos de 8m³ e os denominados “grandes” com capacidade para desdobrar blocos de 10m³. Os teares “normais” têm capacidade nominal para serrar 26 (vinte e seis) blocos de mármore por mês. Os teares “grandes” podem atingir a 42 (quarenta e dois) blocos/mês. Em termos de volume de mármore desdobrado, considerando-se que 10 (dez) teares são do tipo normal,

tem-se que mensalmente sejam serrados 2.080 m³. Os restantes, do tipo grande, desdobram 2.520 m³/mês. Perfazendo um volume nominal máximo de 4.600 m³/mês. Estima-se, com base em informações locais, que sejam gerados na serragem 22% (vinte e dois por cento) de pó de calcário e 8% (oito por cento) de casqueiro representado por, aproximadamente, quatro chapas nas laterais externas do bloco. Nominalmente tem-se uma produção máxima de 1.012 m³/mês de pó de calcário e cerca de 368 m³/mês de casqueiro. Na linha do raciocínio acima apresentado e considerando-se as informações prestadas pelos empreendedores e contidas nos formulários (Apêndices) pode-se estabelecer que atualmente são serrados aproximadamente 260 blocos de mármore Bege Bahia gerando 513,90 m³ de pó de calcário e 186,87 m³ de casqueiro.

Na etapa de polimento, além da água e resíduos sólidos o efluente é composto de outros insumos utilizados: resina, catalisador e material abrasivo. Destes insumos a resina é utilizada em maior escala e segundo Calhau *et al.* (2010), é uma resina poliéster orto-tereftálica insaturada diluída em monômero de estireno, onde numa possível lixiviação para o meio ambiente poderá contaminar o solo e os corpos d'água. A mistura dos efluentes provenientes da serragem e os originados pelo polimento provocará a contaminação do pó de mármore (calcário) oriundo do desdobramento dos blocos, podendo inviabilizar o aproveitamento do mesmo, como um subproduto do mármore em função dos efeitos químicos nocivos da resina no meio ambiente ainda serem pouco conhecidos.

Na etapa de polimento o volume de efluente gerado é enviado para tanques de decantação construídos em série. O processo de decantação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais comuns no tratamento da água. Consiste na utilização das forças gravitacionais para decantar as partículas de densidade superior a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Nestes tipos de tratamento uma parcela da água é recuperada podendo retornar ao processo industrial.

O modelo de tanque de sedimentação aqui apresentado, consiste numa bacia de secção retangular com escoamento horizontal (Figura 12) (ASSOBEGE, 2012).



Fonte: ASSOBEGE, 2012.

Figura 12. Esquema de tanque de decantação.

O desenvolvimento do modelo ideal assume a existência de quatro zonas:

Zona de Entrada: O escoamento torna-se regular. Assume-se que no limite desta zona (isto é, ao longo da linha vertical x_t), as partículas estão uniformemente distribuídas em toda a secção transversal do afluente.

Zona de Sedimentação: Secção onde, por desaceleração do escoamento do fluido, existe uma efetiva sedimentação das partículas. Assume-se que os sólidos são removidos da suspensão assim que atingem o fundo desta zona (a linha horizontal t_y).

Zona de Saída: Onde a água residual é recolhida antes de ser enviada para a próxima unidade de tratamento. Todas as partículas que alcancem esta zona são consideradas como não removidas.

Zona de Lamas: Constitui a entrada da caixa de areia. Esta zona serve para a remoção das lamas, a qual não faz parte da zona de sedimentação efetiva.

Os mais importantes pressupostos do modelo ideal são os seguintes:

- Existe uma dispersão uniforme de água e partículas em suspensão ao longo da zona de entrada. Assim, a concentração de sólidos suspensos é a mesma em qualquer ponto da zona de entrada, o que pressupõe uma perfeita homogeneização da água na entrada da unidade de tratamento;

- Existe escoamento contínuo de fluido a caudal constante (estado estacionário). Oscilações no caudal da água residual provocam variações no funcionamento e eficiência da unidade;
- Uma vez alcançada a zona de lamas uma partícula é considerada retida, isto é, não existe ressuspensão (rearrastamento) de partículas sedimentadas;
- O tempo de permanência de um elemento do fluido é igual ao tempo de retenção, isto é, não existem espaços mortos ou curto circuitos no volume do tanque acima da zona de lamas (zona de sedimentação);
- Existem condições de escoamento do tipo pistão (“plug flow”) para o fluido e a sedimentação das partículas é discreta. A água residual possui a mesma velocidade em qualquer ponto do tanque e as trajetórias das partículas não são afetadas por partículas vizinhas;
- As partículas movem-se longitudinalmente à mesma velocidade do líquido, ou seja, a fase dispersa possui inércia desprezível;
- Não existe movimento de líquido na zona de lamas. A caixa de areia é considerada uma “zona estagnada” para o escoamento da água residual.

O armazenamento inicial da lama é realizado nos tanques de decantação. O percurso que o efluente executa é através de canaletas que fazem as interações com os tanques que geralmente ficam localizados bem próximos das áreas de desdobraimento, polimento e acabamento. Após sedimentação nos tanques, as partículas sólidas com um determinado grau de umidade – “material pastoso” – são transferidas e

armazenadas nos arredores das áreas de beneficiamento, até que sejam enviadas para destinação final.

No caso do material oriundo, exclusivamente, da etapa de desdobramento (teares) aguardam-se os resultados das análises químicas para estabelecimento de seu aproveitamento. O material originado a partir do polimento e os resíduos da serraria misturados ao efluente do polimento serão enviados para depósitos secundários impermeabilizados para evitar contaminação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos.

Neste sentido é extremamente necessário que as linhas de tratamento dessas etapas sejam separadas para não ocorrer contaminação dos efluentes do desdobramento com o efluente do polimento. O projeto de armazenamento temporário e de destinação final, com respectivo memorial de cálculo e previsão da capacidade de armazenagem, assim como a localização geográfica das áreas onde deverão ser implantados os tanques de decantação e/ou os barramentos de rejeitos, serão apresentados por cada empreendimento quando da solicitação de seu licenciamento ambiental.

Os tanques de decantação da etapa de polimento devem possuir superfície impermeável, impedindo que o efluente atinja o lençol freático. Devem possuir uma cobertura móvel para evitar que as águas pluviais provoquem o transbordamento. A água decantada no último tanque retorna ao processo industrial fechando o circuito.

Os resíduos sólidos classificados como inertes, não inertes e perigosos devem ser armazenados de maneira segregada, em locais cobertos. Os possíveis riscos de contaminação ambiental estão intimamente relacionados às unidades de polimento, incluindo os serviços de estucagem e resinagem, considerando

a utilização de insumos com potencial poluidor nos processos. Os riscos de contaminação ambiental poderão acontecer com o armazenamento indevido dos insumos e unidades operacionais impróprias, ou seja, que não apresentem infra-estrutura adequada, tais como: pisos impermeabilizados, canais de coleta de efluentes do processo, tanques de armazenamento, locais apropriados para armazenamento dos recipientes dos produtos químicos antes, durante e após a sua utilização. Apresentam-se a seguir as linhas gerais dos programas e projetos a serem implantados por cada empreendimento adequando-os às suas peculiaridades (ASSOBEGE, 2012).

Os programas e projetos para o descarte ou reuso destes materiais devem considerar a avaliação dos riscos de dano ao meio ambiente e saúde ocupacional dos funcionários. As medidas mitigadoras e de remediação deverão:

- Descrever procedimento de coleta e transporte interno, informando se esta é manual ou mecânica;
- Relacionar as especificações dos equipamentos utilizados em cada etapa;
- Descrição das medidas a serem adotadas em caso de rompimento de recipientes, vazamento de líquidos, derrame de resíduos, ou ocorrência de outras situações indesejáveis;
- Descrever procedimentos de higienização dos recipientes e equipamentos e os produtos empregados;
- Apresentar planta baixa do estabelecimento, especificando as rotas dos resíduos;

- Especificar por tipo ou grupo de resíduos, os tipos de recipientes utilizados para o acondicionamento, especificando a capacidade;
- Estabelecer procedimentos para o correto fechamento, vedação e manuseio dos recipientes, de forma a evitar vazamentos e/ou ruptura dos mesmos e portar símbolo de identificação compatível com o tipo de resíduo acondicionado;
- Descrever os procedimentos para higienização dos EPI's, fardamento, equipamentos, recipientes e relação de produtos químicos empregados;
- Relacionar as metas para a redução da geração, bem como os resíduos destinados à reutilização e a reciclagem, especificando classificação e quantidade;
- Especificar destinação dos resíduos passíveis de reutilização ou reciclagem, fornecendo nome da empresa, endereço, telefone/fax e dados do responsável técnico;
- Procedimentos de manejo utilizados na segregação dos resíduos, na origem, coleta interna, armazenamento, transporte utilizado internamente e externamente, reutilização e reciclagem, caso haja e sua destinação final.

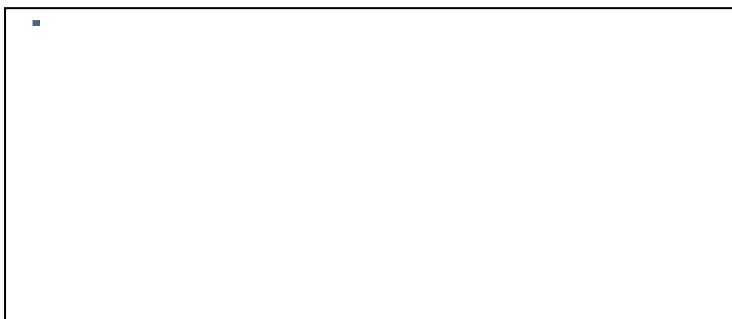


Figura 13. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.



Figura 14. Tanques de retenção de resíduos.



Figura 15. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.

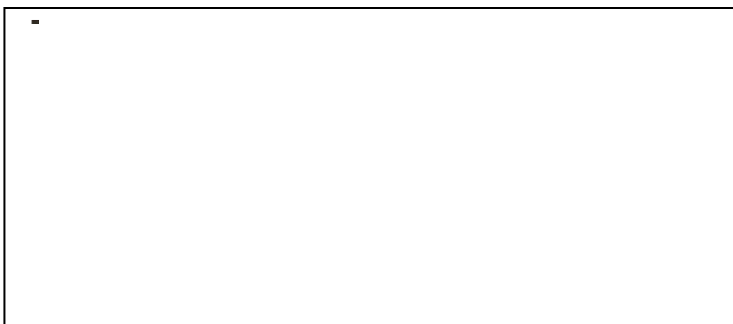


Figura 16. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.



Figura 17. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.

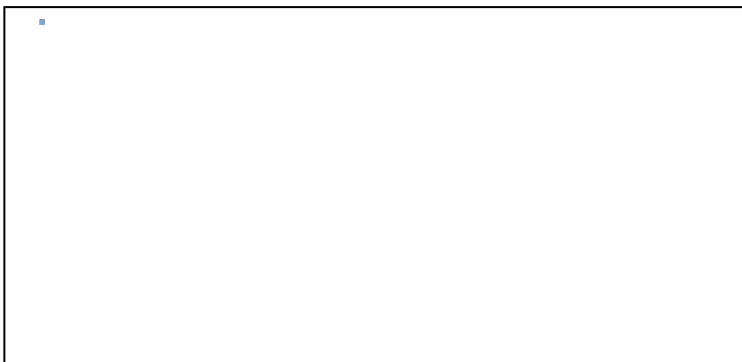


Figura 18. Blocos considerados resíduos.

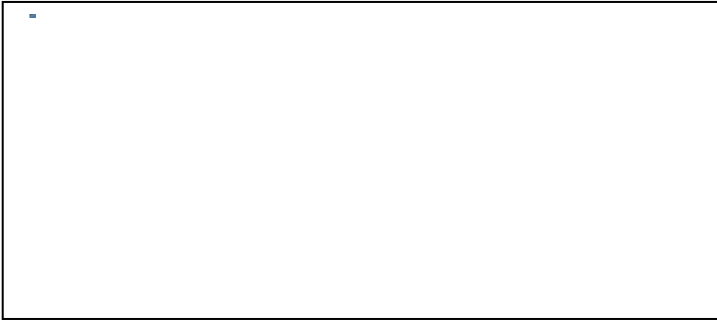


Figura 19. Pilhas de blocos residuais.



Figura 20. Estoque de resíduos de blocos.



Figura 21. depósito de resíduos de blocos e cascalhos.

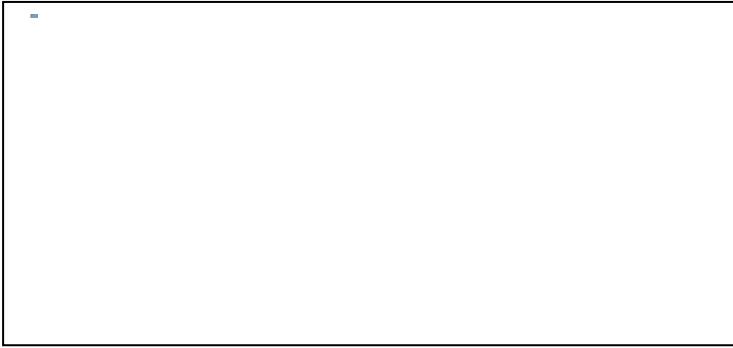


Figura 22. Vista geral de um empreendimento cercado por resíduos.

1.5 | A aplicação de Resíduos no Setor Polimérico

Nesse contexto, surge a indústria polimérica que pode ser mais uma alternativa para a aplicação dos resíduos 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 interações entre cargas minerais e os polímeros são dificultadas, visto que as cargas minerais apresentam superfícies polares aliadas a elevados valores de área superficial, enquanto que os polímeros são, em sua maioria, apolares. Essa diferença de polaridade prejudica a molhabilidade das cargas minerais pelo polímero e também a sua dispersão.

Durante o processo de mistura entre a carga mineral e o polímero, devido à força de adesão entre as partículas minerais e à tensão interfacial entre estas e o polímero, as partículas de carga mineral tendem a formar agregados. A presença de agregados é particularmente relevante quando da presença de partículas com granulação inferior a 20 μm de diâmetro, situação em que as forças atrativas entre elas podem ser mais importantes que o seu próprio peso. As principais forças que existem entre as partículas de cargas minerais são: forças eletrostáticas, forças de van der Waals e pontes de hidrogênio.

A partícula de carga mineral costuma ter a sua força de tensão superficial muito superior àquela do polímero. Se esta partícula fosse adicionada ao polímero sem que tivesse sido tratada superficialmente, ela tenderia a se aglomerar e a não se dispersar porque a força de interação partícula-partícula (coesão) seria maior do que a força de interação partícula-polímero (adesão).

Com o tratamento superficial adequado, a força de tensão superficial da carga mineral é diminuída a valor menor do que aquele da força de tensão superficial do polímero. Assim, a força de interação partícula-partícula sendo menor que a força de interação partícula-polímero permite que a carga se disperse mais facilmente na matriz polimérica.

Dependendo do agente de tratamento empregado, a partícula será apenas dispersa na matriz do polímero sem que haja interação entre ela e o polímero. Em outras situações o agente que promove a dispersão também favorece, por algum meio, forte interação partícula-polímero. Os tratamentos mais empregados atualmente envolvem o uso de ácidos graxos ou silanos.

Os agentes de tratamento superficial à base de organossilanos, constituídos quimicamente por cadeias monoméricas de silício, têm amplo uso por sua habilidade de interligar quimicamente polímeros orgânicos a materiais inorgânicos, como as cargas minerais (Plueddermann, 1974). Quando os organossilanos são adicionados a estes sistemas melhoram suas propriedades físicas e químicas, mesmo quando submetidos a severas condições ambientais.

Os tratamentos superficiais à base de ácidos graxos são considerados do tipo dispersantes, promovendo uma melhor dispersão do mineral no compósito. Ácidos graxos em particular, são muito eficientes em facilitar a incorporação de cargas minerais polares em polímeros apolares no estado fundido, resultando na redução da viscosidade do polímero fundido e melhorando a dispersão. Isto é alcançado pela diminuição da tensão superficial da carga mineral, resultando no favorecimento do molhamento de sua superfície pela matriz polimérica. No entanto, a força de adesão é reduzida (LIAW *et al.*, 1998).

Os compósitos de matriz polimérica estão sujeitos à degradação seja durante o processamento ou no uso final. Como consequência tem-se: aumento do índice de fluidez, descoloração, perda de brilho (superfície) e perda de propriedades mecânicas (impacto, tração e alongamento). Todavia, a degradação da matriz polimérica pode ser controlada através de duas formas: modificação do polímero e adição de estabilizantes. Esta última possibilidade é mais utilizada, visto que a modificação de um polímero nem sempre é conveniente. As duas classes mais importantes são: antioxidantes e estabilizantes à luz.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade do aproveitamento dos resíduos gerados na extração e no beneficiamento das rochas calcárias de revestimento, conhecidas como Bege Bahia, na geração de compósitos poliméricos à base de polipropileno.

3 | EXPERIMENTAL

3.1 | Origem dos Materiais

O polipropileno utilizado apresenta índice de fluidez 12g/10 min (2,16 kg/230°C) e densidade de 0,903 g/cm³.

Os resíduos estudados são oriundos da extração e do beneficiamento do calcário Bege Bahia da região de Ourolândia, localizada no Estado da Bahia, como indica a figura 23.

A amostragem dos resíduos foi realizada em 106 pontos específicos classificados como amostras de 1 a 30 (Bege Bahia), amostras de 31 a 60 (Cava 1) e amostras de 61 a 106 (Travertino). No entanto, após a verificação da homogeneidade química e mineralógica, misturou-se todo resíduo para preparação dos compósitos.



Figura 23. Localização da região de Ourolândia – BA.

3.2 | Tratamento dos Resíduos

Os resíduos foram peneirados até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas e, em seguida, foram desagregados.

3.3 | Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos de Mármore

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca modelo DCT 20, 20 mm, marca Teck Trill, com L/D=36, utilizando-se uma velocidade de 200 rpm., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C. Os teores de resíduo utilizados foram: 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50, em massa. Acoplada à extrusora, encontram-se uma mesa calibradora com sistema de refrigeração e uma calandra, para resfriar, uniformemente, a fita e puxar o material extrusado, respectivamente. Foram obtidos perfis planos, semelhantes a fitas.

3.4 | 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.

3.5 | Determinação da Massa Específica

A densidade dos compósitos foi determinada segundo a norma ABNT 08/98. A partir das fitas obtidas da extrusora, foram confeccionados corpos-de-prova.

3.6 | Ensaio de Tração dos Compósitos

Para a determinação do módulo no ensaio de tração, foi utilizada a máquina universal de ensaios mecânicos da Emic, modelo DL3000. O ensaio de tração foi realizado de acordo com a norma ASTM D 638, em temperatura de 25 °C e velocidade de 50mm/min. Foram utilizados 10 corpos de prova para a realização do ensaio.

3.7 | Ensaio de Resistência ao Impacto Izod a 23°C dos Compósitos

O ensaio de resistência ao impacto do PP e dos compósitos foi realizado a partir da mediana dos resultados de energia cinética absorvida para romper cada corpo-de-prova. Foram utilizados 10 corpos-de-prova, que foram entalhados e analisados segundo a norma ASTM D 256, utilizando o martelo de 2,7J.

3.8 | Realização dos Ensaio de Alterabilidade

3.8.1 | Ensaio de Exposição à Névoa Salina

Para o ensaio de exposição à névoa salina, os corpos-de-prova foram pesados e mediu-se o brilho e a cor. Após esta etapa, os mesmos foram condicionados em câmara sob a ação de *spray*

salino por 6 horas e secagem por 12 horas, totalizando 18 horas (1 ciclo). Durante o ciclo, a temperatura da câmara climática marinha foi mantida em (40 ± 5) °C. Passados 30 ciclos, os corpos-de-prova foram pesados e mediu-se o brilho novamente, obtendo, deste modo, o seu peso, cor e brilho final. O ensaio baseou-se na norma ABNT/NBR 8094/83. Além disso, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos.



Figura 24. Exposição das amostras à câmara de salinidade.

3.8.2 | Ensaio de Exposição ao SO_2

Inicialmente procedeu-se a lavagem e secagem dos corpos-de-prova em estufa por 24 horas à 70°C, mediu-se os valores iniciais de brilho, cor e realizou-se a pesagem dos mesmos. Colocou-se os corpos-de-prova na câmara, suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de *nylon*, ajustou-se a temperatura para 40°C e adicionou-se o SO_2 . Devido a presença de água na câmara, há formação de um ambiente ácido, capaz de atacar as rochas e simular o efeito da chuva

ácida. As rochas ficam em exposição a este ambiente durante 8 horas. Passado este tempo, desligou-se o aparelho, abriu-se a câmara para ventilação do seu interior, permanecendo, assim, por 16 horas o que caracterizou a conclusão de 1 ciclo. O ensaio por exposição ao SO_2 baseia-se na norma ABNT/NBR 8096/83. Além disso, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos.



Figura 25. Exposição dos corpos de prova à ação de SO_2 .

4 | Resultados e Discussões

4.1 | Processamento dos Compósitos de Polipropileno e Resíduos

A Figura 26 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde verificou-se que foi possível a realização do processamento com até 50%, em massa, de resíduo de calcário Bege Bahia. Já na Tabela 2, especifica-se as composições de cada compósito gerado.



Figura 26. Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduo.

Tabela 2: Composição dos Compósitos.

Composição	PP (g)	PP-MA* (g)	Bege Bahia (%)	Irganox 1010** (g)
BB001	400	0	0	4
BB002	400	0	10	4
BB003	400	0	20	4
BB004	400	0	30	4
BB005	400	0	40	4
BB006	400	0	50	4
BB007	360	40	0	4
BB008	360	40	10	4
BB009	360	40	20	4
BB010	360	40	30	4
BB011	360	40	40	4
BB012	360	40	540	4

*PP-MA – Trata-se de um compatibilizante de Polipropileno grafitizado com anidrido maleico.

**Irganox – Trata-se de um anti-oxidante .

4.2 | Análise Química e Mineralógica do Resíduo

Na Tabela 3 pode-se verificar que o principal componente do resíduo é o cálcio, sendo encontrado naturalmente como carbonato de cálcio (calcita), confirmado no DRX apresentado na Figura 27. O segundo principal componente é o magnésio, encontrado como carbonato de magnésio (dolomita). Esses resultados são compatíveis aos encontrados na literatura (VARELA, PETTER e WOTRUBA, 2006).

A similaridade na composição dos resíduos, nos seis pontos de coleta, possibilitou a mistura dos mesmos em único material, realizou-se uma pilha e homogeneização para produção dos compósitos.

Tabela 3 - Análise química do resíduo de mármore (< 0,037 mm).

Elementos	Amostra 1 Bege Bahia	Amostra 2 Bege Bahia	Amostra 3 Cava 1	Amostra 4 Cava 1	Amostra 5 Travertino	Amostra 6 Travertino
SiO ₂	5,10	5,30	4,20	4,40	5,90	5,90
Al ₂ O ₃	0,40	0,40	0,46	0,51	0,51	0,51
Fe ₂ O ₃	0,22	0,21	0,28	0,22	0,24	0,89
CaO	50,20	49,50	50,70	48,20	47,40	47,10
MgO	4,60	4,90	2,40	2,70	5,60	4,70

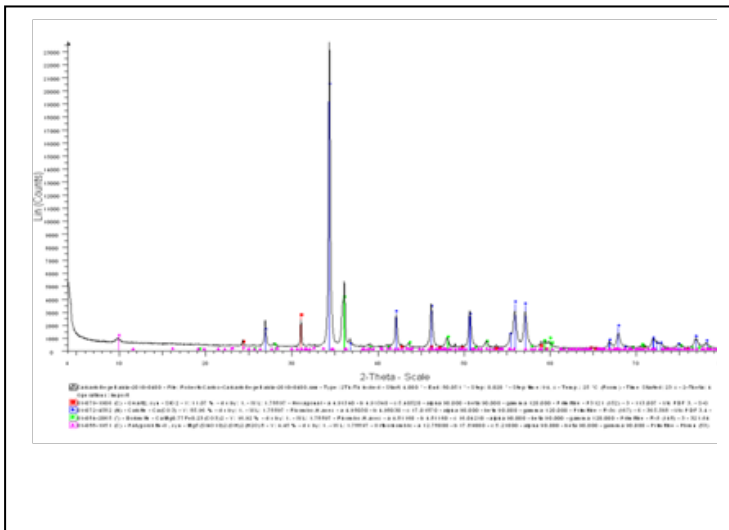


Figura 27. Difratoograma de raios-x da amostra de resíduo.

4.3 | Massa Específica

Na Figura 28 estão apresentados os resultados de massa específica dos compósitos em estudo. Os valores de densidade determinados para o PP puro (BB 001 e BB007) foi em torno de $0,9 \text{ g/cm}^3$, compatível com o valor da literatura, $0,920 \text{ g/cm}^3$ (Mano, 1991). Observou-se também que após a adição de 20% em massa de resíduo bege Bahia houve um aumento considerável na densidade, chegando-se a valores em torno de $1,7 \text{ g/cm}^3$, indicando o efeito da carga mineral na matriz polimérica.

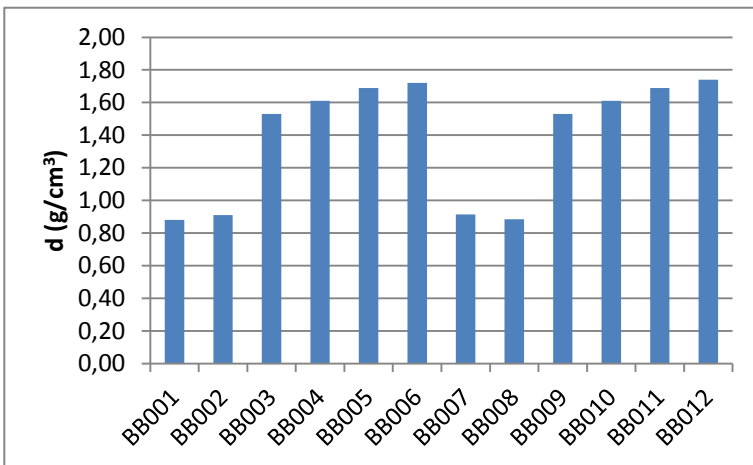


Figura 28. Massa específica (g.cm^{-3}) dos compósitos.

4.4 | Módulos de Tração

As Figuras 29, 30 e 31 apresentam o crescimento da tensão de escoamento (na força máxima realizada), deformação específica de ruptura e o módulo elástico, respectivamente, em relação ao aumento da incorporação do resíduo na matriz do PP. Esses módulos são resultado do mesmo ensaio.

Na Figura 29 verifica-se a tensão de escoamento dos compósitos gerados. A tensão de escoamento é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Dessa forma, verifica-se que o aumento do percentual de carga mineral na matriz polimérica é capaz de diminuir a tensão de escoamento, indicando que a presença dessa carga é responsável em fazer com que os compósitos suportem menos tensão, como se observa nos compósitos de BB002 à BB 006, onde a tensão diminui de 32 mPa para 26 mPa. No entanto, quando se verificam os valores de tensão dos compósitos que apresentam o compatibilizante PP-MA (de BB007 a BB012) observa-se que o aumento de carga mineral não é capaz de diminuir essa tensão indicando a boa atuação do compatibilizante entre a carga mineral e o polímero.

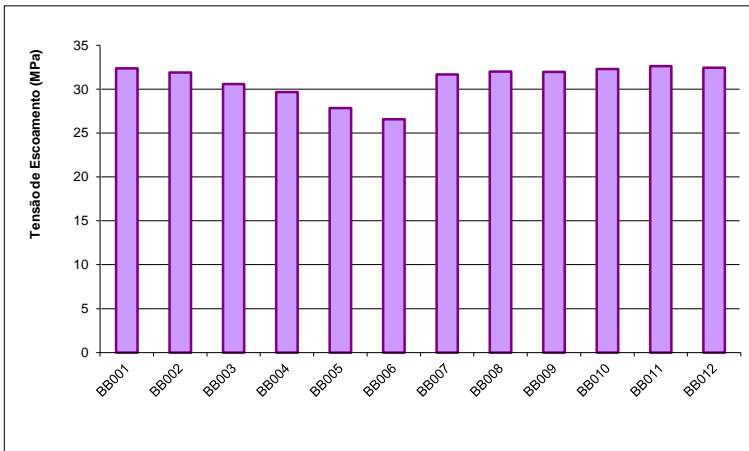


Figura 29. Tensão de Escoamento dos diferentes compósitos

Na Figura 30 observa-se que a deformação específica na ruptura do polipropileno isento de carga mineral é alta, chegando-se a valores em torno de 300% para o BB001 e 350% para o BB007. Verifica-se, também, que a adição do resíduo é responsável pela estabilização mecânica do material, uma vez que a deformação específica diminui gradativamente, chegando-se a valores em torno de 10% para os compósitos que apresentavam 50%, em massa de resíduo, que são BB006 e BB012. A atuação benéfica do compatibilizante PP-MA pode ser verificada já nos compósitos contendo 20%, em massa, de resíduo (BB009), que apresentaram uma diminuição mais significativa na deformação de ruptura, se comparada ao compósito com o mesmo percentual de resíduo, porém sem a presença do compatibilizante (BB003). A função do compatibilizante é facilitar a interação entre a carga mineral e o polímero, e isso pôde ser verificado nos compósitos que o apresentava em sua composição.

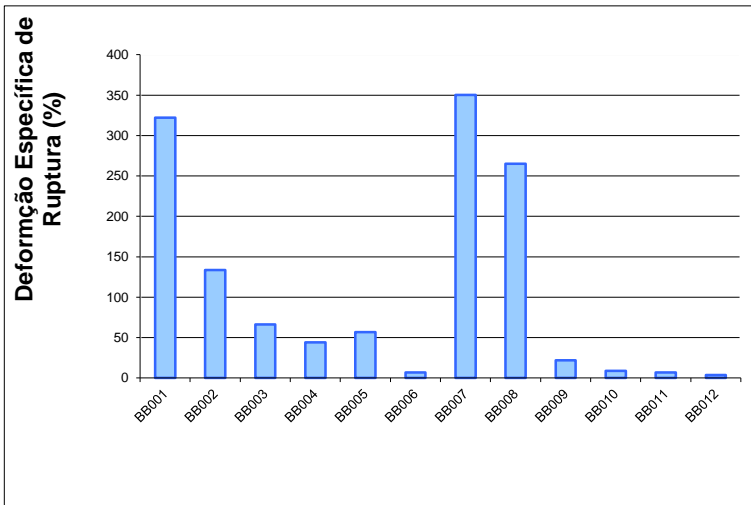


Figura 30. Deformação Específica de Ruptura dos diferentes compósitos.

Na Figura 31 pode-se verificar o módulo de elasticidade dos compósitos. O módulo de Young ou módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. Dessa forma, verifica-se que os materiais de polipropileno isentos de carga mineral (BB001 e BB007) apresentam os menores valores de módulo de elasticidade, em torno de 800MPa, e que a adição de carga é capaz de aumentar esse valor para 1300MPa para todos os compósitos, indicando o aumento de rigidez do material sólido.

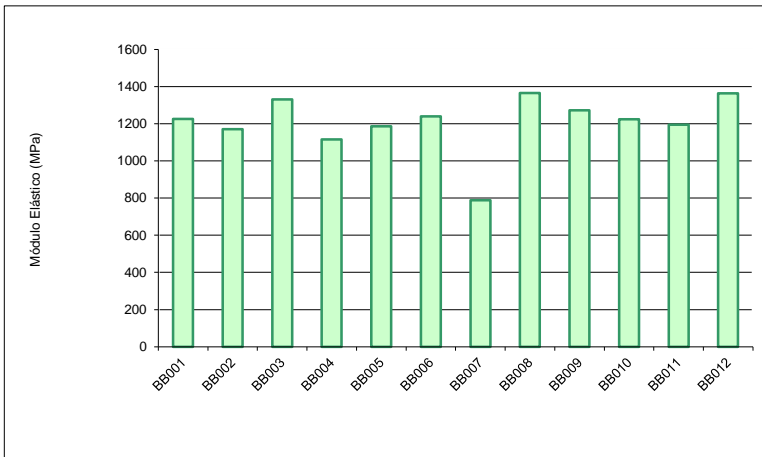


Figura 31. Módulo Elástico dos diferentes compostos.

4.5 | Resistência ao Impacto Izod a 23 °C

Os resultados de resistência ao Impacto Izod a 23 °C obtidos para os compostos de PP com resíduos em todos os teores da Tabela 2 foram bastante satisfatórios, indicados pela Figura 32. Determinou-se que a aplicação de resíduo de mármore na matriz de polipropileno proporciona um aumento bastante expressivo e crescente na resistência ao impacto, principalmente nos teores de 20 a 50% em massa. O resultado mais considerável foi obtido com 50% de resíduo, o qual apresentou um aumento de mais de 400% na resistência ao impacto comparado ao PP puro. A partir de 60% em massa de resíduo, observou-se uma queda nessa propriedade, possivelmente, pela baixa homogeneização do compósito. Contudo, essa propriedade ainda mostrou-se superior comparado ao valor obtido para o PP puro, o que em termos ambientais, é bastante interessante.

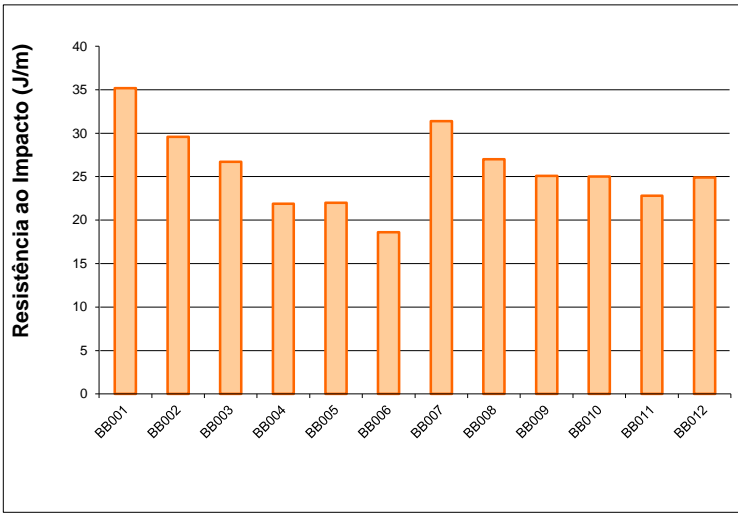


Figura 32. Resultados de resistência ao impacto Izod dos diferentes compósitos.

4.6 | Resultados de Alterabilidade

Após a exposição dos compósitos às câmaras de Névoa Salina e SO_2 , não houve alteração visivelmente significativa em termos de cor, textura, peso e brilho.

5. CONCLUSÕES

É possível a produção de compósitos poliméricos contendo resíduos de rocha Bege Bahia até um teor máximo de 70%, em massa; porém, os melhores resultados de trabalhabilidade de extrusão, bem como índices de resistência mecânica, indicam que teores até 50%, em massa, são aceitáveis.

Os valores de tração e flexão dos compósitos adéquam sua utilização para uma série de setores da indústria.

Os compósitos apresentaram pouca alteração após ensaios de alterabilidade de ataque salino e SO_2 .

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro para realização desse trabalho, ao CETEM e INT pela infra-estrutura, aos bolsistas de iniciação científica, PCI, mestrado e doutorado, à geóloga Rosana Coppedê, aos técnicos Michelle Teixeira e Carlos Alberto Santos e especialmente à ASSOBEGE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Philadelphia: ASMT, 1993.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D790: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Filadélfia: ASTM, 1984.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G 53-96: Standard Practice for Operating Light-and Water Exposure Apparatus (Fluorescent UV - Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials. Philadelphia: ASTM, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 08/98: Determinação da Densidade Relativa. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8094/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Névoa Salina. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8095/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ASSOCIAÇÃO DOS EMPREENDEDORES DE MÁRMORE BEGE BAHIA – ASSOBEGE, Relatórios dos estudos ambientais, Relatório Técnico elaborado por RSÁ FILHO CONSULTORIA GEOLÓGICA E AMBIENTAL LTDA, OuroLânida – BA, 2012.
- CALLISTER, W. D. J., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 7 ed. RJ, BRASIL: LTC, 2008, 398p.

- DUBNIKOVA, I. L.; NIZHEGORODTSEVA, E. I.; LOMAKIN S. M., KRASHENINNIKOV V. G., GORENBERG, A. YA. & KULEZNEV, V. N., Preparation and Characteristics of Composites Based on Polypropylene and Ultradispersed Calcium Carbonate. *Polymer Science, ser. A*, vol. 50, nº 12, p. 1214–1225, 2008.
- LAM, T. D.; HOANG, T. V.; QUANG, D. T. & KIM, J. S., Effect of nanosized and surface-modified precipitated calcium carbonate on properties of CaCO₃/polypropylene nanocomposites. *Materials Science and Engeneering, ser. A*, vol. 501, p. 87-93, 2009.
- LING, Z.; ZHENGHUA, W.; RUI, H.; LIANGBIN, L. & XINYUAN, Z, PP/elastomer/calcium carbonate composites: effect of elastomer and calcium carbonate contents on the deformation and impact behavior. *Journal Of Materials Science*, vol. 37, p. 2615 – 2621, 2002.
- ROCHAS DE QUALIDADE, edição 212, março-abril, 2009.
- SANTOS, S. F., Análise de filmes poliméricos densos de ACC/PHANMCL por técnicas de DSC, DMA, XPS, ângulo de contato e AFM. Dissertação de M.Sc. em Física, PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- SOUZA, L. R.; RIBEIRO, R. C. C. & CARRISSO, R. C. C., Aplicação de Rejeitos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica. In: XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM. Rio de Janeiro, 2008.
- VALCARTE, M. B.; BUSALMEN, J. P. & SÁNCHEZ, S. R., The influence of the surface condition on the adhesion of pseudomonas fluorescens (ATTCC 17552) to copper and aluminium brass. *Internacional Journal of Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 50, nº 1, pp. 61-66, 2002.
- VAN OSS, C. J. & GIESE, R. F., Hydrophilicity and hydrophobicity of clay minerals. *Clays and Clay Minerals*, vol. 43, nº 4, pp. 474-477, 1995.

- VIDAL, F. W. H., Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granites do Ceará, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 1999.
- VISCO, G.; GREGORI E.; TOMASSETTI M. & CAMPANELLA L., Probably counterfeit in Roman Imperial Age: Pattern recognition helps diagnostic performed with inductive coupled plasma spectrometry and thermogravimetry analysis of torso and a head of Roman Age marble statue. *Microchemical Journal*, vol. 88, p. 210-217, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 08/98: Determinação da Densidade Relativa. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8094/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Névoa Salina. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- LING, Z.; ZHENGHUA, W.; RUI, H.; LIANGBIN, L. & XINYUAN, Z, PP/elastomer/calcium carbonate composites: effect of elastomer and calcium carbonate contents on the deformation and impact behavior. *Journal Of Materials Science*, vol. 37, p. 2615 – 2621, 2002.
- LUZ, A.B.; LINS F.F., Capítulo 1 , Tratamento de Minérios ; Introdução ao Tratamento de Minérios; Rio de Janeiro; CETEM/ CNPq, 2008.
- SANTOS, S. F., Análise de filmes poliméricos densos de ACC/PHANMCL por técnicas de DSC, DMA, XPS, ângulo de contato e AFM. Dissertação de M.Sc. em Física, PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- SOUZA, L. R.; RIBEIRO, R. C. C. & CARRISSO, R. C. C., Aplicação de Rejeitos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica. In: XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

VIDAL, F. W. H., Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granites do Ceará, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 1999.

VISCO, G.; GREGORI E.; TOMASSETTI M. & CAMPANELLA L., Probably counterfeit in Roman Imperial Age: Pattern recognition helps diagnostic performed with inductive coupled plasma spectrometry and thermogravimetry analysis of torso and a head of Roman Age marble statue. *Microchemical Journal*, vol. 88, p. 210-217, 2008.

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 2014, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 280 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- 81 – **Potencial Biotecnológico do uso de Micro-organismos Imobilizados em Gel de Alginato de Cálcio.** Ellen Cristine Giese, 2015.

STA-80 – **Balanço Hídrico em Coberturas Secas Utilizando Modelagem Numérica.** Mario Valente Possa, Anderson Borghetti Soares, Vicente Paulo de Souza e Paulo Sérgio Moreira Soares, 2015.

STA-79 – **Desativação de Minas.** Adão Benvindo da Luz e João Alves Sampaio, 2015.

STA-78 – **Parâmetros Físico-Químicos e Geoquímicos na Mitigação de Drenagem Ácida de Mina Utilizando Método de Cobertura Seca: Estudos em escala piloto.** Vicente Paulo de Souza, Anderson Borghetti Soares, Mario Valente Possa e Paulo Sérgio Moreira Soares, 2014.

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 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

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.