

XXII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Rio de Janeiro, RJ
24 e 25 de Julho de 2014

**Tema: Rochas
Ornamentais e de
Revestimento**



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**

CONTEÚDO

ARRUDA, Camila M. R.; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Aplicação de resíduos da lavra do mármore Bege Bahia na geração de materiais poliméricos especiais.**

AVELLAR, Gabriela de O.; QUEIROZ, Joedy P. C.; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Avaliação da deterioração de rochas ornamentais em prédios históricos do centro da cidade do Rio de Janeiro.**

BARBUTTI, Daniel S.; SILVA, Rosana E. C. da; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Estudo da interação de protetivos e minerais no restauro de monumentos pétreos.**

BRUM, Isabella A.; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Geração de tubetes de plantio constituídos de polímero biodegradável e resíduos minerais.**

FAZOLO, Dghean Z.; FERREIRA, Gilson E. ; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Pré-viabilidade econômica da aplicação de resíduo de mármore no setor agrícola.**

FONSECA JUNIOR, Carlos A. F.; FERREIRA, Gilson E. **Estudo econômico para o uso do Bege Bahia como carga em compostos poliméricos.**

LACERDA, Gabriela F.; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Ação de removedor de pichação na superfície de rochas ornamentais de bens tombados pelo patrimônio.**

LEITÃO, Vagner M. F.; SILVEIRA, Leonardo L. L. da. **Ecoabrasivo confeccionado com resina vegetal e carbeto de silício: uma inovação para o setor de rochas ornamentais.**

MARCON, Douglas B.; VIDAL, Francisco W.H.; CASTRO, Nuria F. **Estudo do beneficiamento do resíduo de rochas ornamentais.**

PIZETTA, Pedro P.; GADIOLI; Mônica C. B. **Incorporação de resíduo de rocha ornamental proveniente de tear multifio em massa cerâmica.**

PRATES, Letícia M.; CORREA, Julio C. G.; CARAUTA, Alexandre. **Estudo da interação entre resinas e a albida componente de rochas ornamentais.**

SANTOS, Paula E.; MONTE, Marisa B. de M.; RIBEIRO, Roberto C. da C. **Efeito de descargas elétricas na estrutura mineralógica da pedra sabão que recobre o Cristo Redentor.**

SOUZA, Davi V. de; VIDAL, Francisco W.H. **Recuperação do diamante contido no resíduo de serragem de rochas ornamentais em teares multifio.**

SOUZA, Natielly A. da S.; RIBEIRO, Roberto C. da C.; QUEIROZ, Joedy P. C. **Avaliação da utilização de resíduos de rochas ornamentais na completação de poços de petróleo.**

VALDO, Letícia; PEITER, Carlos C.; SILVEIRA, Leonardo L. L. da. **Determinação do coeficiente de atrito dinâmico d e superfícies de rochas ornamentais brasileiras ensaiadas no *tilt test* e pêndulo britânico.**

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA LAVRA DO MÁRMORE BEGE BAHIA NA GERAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS ESPECIAIS

Camila Maria Rosa Arruda

Aluna de Graduação de Eng. de Materiais, UFRJ
Período BIC/CETEM, novembro de 2013 a julho de 2014.

cmarruda@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Professor Engenheiro Químico, D. Sc.,

rcarlos@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

A lavra e o beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil ainda são processos responsáveis pela geração de uma quantidade significativa de resíduos, que podem acarretar grandes impactos ambientais e gerar graves problemas econômicos para o setor, uma vez que 70%, em massa, é considerado resíduo. O setor de rochas (ABIROCHAS, 2012) tem como grande desafio o reaproveitamento racional desses resíduos, tornando-o um subproduto economicamente viável para sua comercialização. Nesse contexto, surge a indústria polimérica, onde cargas minerais são incorporadas em matrizes poliméricas visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termomecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento, e em particular, reduzir 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.*, 2003). Dentre as principais rochas comercializadas no Brasil, destaca-se o mármore Bege Bahia, que se trata de um calcário ornamental, de baixa dureza e fácil corte e beneficiamento; e seus resíduos, geralmente, apresentam granulometria ultrafina (<0,037 mm), composição homogênea, com baixos teores de ferro e sílica, caracterizando-o com grande potencial para aplicação como carga mineral no setor polimérico (VIDAL *et al.*, 2009).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica e a avaliação da periculosidade e inércia da aplicação do resíduo gerado no corte do Mármore Bege Bahia como carga na matriz do polipropileno para a geração de produtos especiais, como brinquedos e papel braile para utilização de cegos.

3. METODOLOGIA

3.1. Origem dos Materiais

O Polipropileno apresenta índice de fluidez 1,5g/10min e densidade de 0,903 g.cm⁻³ e foi fornecido pela Suzano Petroquímica (Polibrasil). Já o resíduo, é oriundo do corte do calcário, conhecido comercialmente como Mármore Bege Bahia, da cidade de Ouroândia – BA.

3.2. Análise Química do Resíduo

A determinação da composição química do resíduo foi realizada pela Coordenação de Análises Minerais (COAM) do CETEM.

3.3. Processamento dos Compósitos

O processamento consistiu, numa primeira etapa, da mistura do polipropileno com o resíduo de calcário, e os compósitos foram processados com 10, 20, 30, 40 e 50%, em massa. Em seguida, a mistura foi extrusada em extrusora dupla-rosca modelo DCT 20. A forma final dos corpos de prova foi obtida pela máquina Injetora *Battenfeld Plus 35*. As nomenclaturas das diferentes composições do resíduo de Bege Bahia (BB) nos compósitos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Percentual de resíduo em cada compósito.

BB01	BB02	BB03	BB04	BB05	BB06
0	10%	20%	30%	40%	50%

3.4. Caracterização dos Compósitos

3.4.1. Determinação da Massa Específica

A densidade dos compósitos foi determinada segundo a norma ASTM D792-13,.

3.4.2. Comportamento Mecânico

O ensaio de tração foi realizado utilizando-se uma máquina de ensaios mecânicos da marca Emic, de acordo com a norma ASTM D 638. O ensaio de impacto, realizado por meio da máquina de teste Izod, de acordo com a norma ASTM D 256 – 05. O ensaio de flexão foi realizado utilizando-se uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Emic, de acordo com a norma ASTM D 790.

3.5 Avaliação da toxicidade do resíduo

3.5.1 Determinação da Classe do Resíduo

A periculosidade de um resíduo é classificada em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podendo apresentar risco à saúde humana e ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. Utilizou-se a norma NBR 10.004/04, para classificar o resíduo e os compósitos do mármore Bege Bahia em classe I ou II, pela periculosidade e inércia. O resíduo foi submetido a ensaios de solubilização e lixiviação e os extratos resultantes foram submetidos a análise química. O mesmo procedimento foi realizado com os compósitos. Os resultados foram comparados com os limites máximos estabelecidos nos anexos G e H da norma.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Química do Resíduo

A avaliação do resíduo por FRX determinou teores de 43,5% de CaO, cerca de 8% de MgO, 0,5% de Al₂O₃, 5,4% de SiO₂ e cerca de 43% de perda ao fogo, uma vez que se trata de um calcário calcítico.

4.2 Classificação do Resíduo

Após os ensaios de solubilização e lixiviação do resíduo verificou-se a solubilidade de alguns elementos acima do estabelecido pela norma NBR 10004/04, classificando tal resíduo como Classe II A – não perigoso e não inerte. Segundo a norma, o teor de alumínio do solubilizado deveria ser inferior a 0,2 ppm e o valor encontrado foi de 1,0 ppm. Os demais elementos encontravam-se dentro dos limites estabelecidos na norma. No que concerne ao ensaio de lixiviação, todos os elementos também se encontram nos limites estabelecidos.

4.3 Caracterização dos Compósitos

4.3.1. Determinação da Massa Específica

Os valores de massa específica obtidos para o PP puro (0%) foi em torno de $0,9 \text{ g.mL}^{-1}$, compatível com o valor da literatura, $0,920 \text{ g.mL}^{-1}$ (MANO, 1991). Observou-se também que há pouca variação na massa específica com o aumento percentual de resíduos, pois com 10 e 20% o valor da massa específica foi de 1 g.mL^{-1} e com 30, 40 e 50% a massa específica aumentou para $1,1 \text{ g.mL}^{-1}$.

4.3.2. Comportamento Mecânico

De acordo com os ensaios de tração é possível obter alguns parâmetros. O primeiro a ser analisado será a Tensão de Escoamento do material, como pode ser visto na Figura 1. A tensão de escoamento é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Dessa forma, verifica-se que a presença dessa carga é responsável por fazer com que os compósitos suportem menos tensão. Na Figura 2 observa-se que a deformação específica na ruptura do polipropileno isento de carga mineral é alta, chegando-se a valores em torno de 300% e com a adição do resíduo verifica-se a estabilização mecânica do material, uma vez que a deformação específica diminui gradativamente, chegando-se a valores em torno de 10%.

Na Figura 3 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. Na Figura 4, correspondente ao ensaio de Impacto Izod, verifica-se também que a adição do resíduo é responsável pela estabilização mecânica do material, uma vez que com a adição de carga os valores de resistência ao impacto se mantêm em torno de 20 J/m .

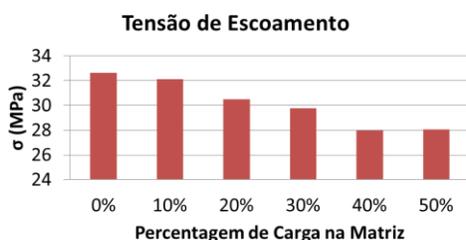


Figura 1: Tensão de Escoamento.

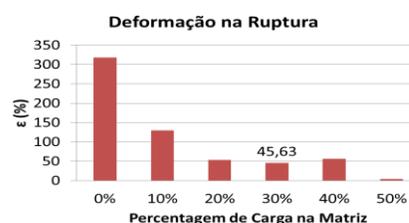


Figura 2: Deformação Específica de Ruptura.

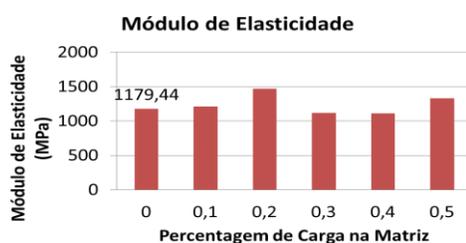


Figura 3: Módulo Elástico.

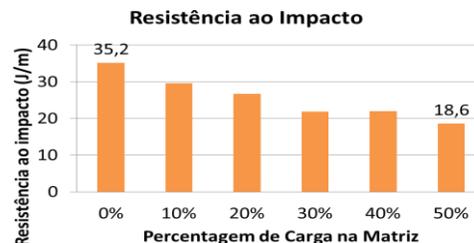


Figura 4: Resistência ao Impacto.

4.3.3 Verificação da periculosidade e inércia do compósito

Após a adição do resíduo na matriz do PP para formação do compósito e esse compósito ser lixiviado e solubilizado, os resultados de análise química não indicaram a solubilização ou lixiviação de nenhum de seus elementos, principalmente do alumínio, classificando o material como Classe II B – não perigoso e inerte. Tal fato pode ser explicado por meio de modelagem molecular. Na Figura 5, observa-se um fragmento da molécula do polipropileno com a interação intermolecular carbonatos (em vermelho) e também com o alumínio (em rosa), que é um elemento altamente polarizante, que realiza uma interação eletrostática com a longa cadeia do polipropileno, enovelando-a e aumentando a resistência mecânica do compósito e tornando o material como inerte. O alumínio se complexa de tal forma à cadeia do PP que não é capaz de ser retirado em condições normais.

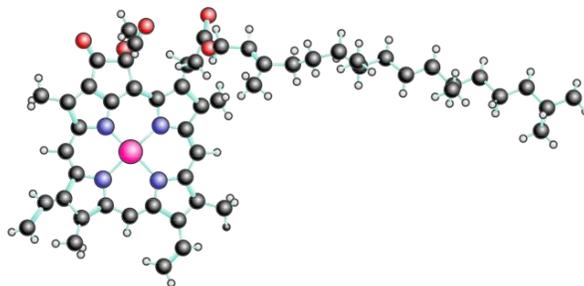


Figura 5: Estrutura do Polipropileno enovelada pela presença do alumínio e dos carbonatos

Após a confirmação técnica de que os compósitos não eram perigosos e eram inertes, foram processados brinquedos e papel em braile para utilização por pessoas cegas, aproveitando as características de cada um dos compósitos, contendo diferentes percentuais de cargas.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os resíduos de calcário podem ser utilizados como carga mineral na produção de compósito de polipropileno, chegando-se a 50% em massa. Além disso, é possível verificar que o aumento de carga não altera sua massa específica, o compósito apresenta alta resistência e não apresenta periculosidade, já que o elemento que era responsável pela sua classificação como não inerte, o alumínio, foi encapsulado pela estrutura do polipropileno.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, ao Cetem e ao INT pela infraestrutura e à D. Sc. Márcia Gomes de Oliveira e ao tecnólogo Renato Barros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10004/04, Resíduos Sólidos – Classificação, 2004.
- ABIRROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Informe 11/2012, São Paulo, São Paulo (Brasil).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.
- 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. D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement .
- MANO, E. B. Polímeros como Materiais de Engenharia. ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil,1991.
- RAMOS, S. M. L. S., CARVALHO L. H., Spieth, e., RIVADULA, R. S. M., Efeitos da estabilização do Polipropileno nas propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas de compósitos de Polipropileno/Atapulgita. Revista Polímeros, 2003.
- VIDAL, F. W. H., RIBEIRO, L. D., ALVES, E., BARRETO, E., PINHO, R., Apoio técnico ao arranjo produtivo do mármore bege-Bahia. Relatório de Andamento de Realizações, Salvador – BA, 2009.

AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM PRÉDIOS HISTÓRICOS DO CENTRO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Gabriela de Oliveira Avellar

Aluna de Graduação em Geologia 5º período, UERJ.
Período PIBIC/CETEM: março de 2014 a julho de 2014.
gavellar@cetem.gov.br

Joedy Patrícia Cruz Queiroz

Orientadora, Geóloga, D.Sc.
jqueiroz@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Professor Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O Rio de Janeiro apresenta importantes monumentos históricos que foram construídos no período colonial em rochas ornamentais, principalmente em gnaisse facoidal e em leptinito, típicas deste Estado.

O gnaisse facoidal é uma rocha de granulometria grosseira, composta de feldspatos elípticos de tamanho centimétrico, orientados preferencialmente, além de quartzo, biotita e magnetita, que se agrupam em fitas que contornam os feldspatos. Já o leptinito é uma rocha leucocrática, com mineralogia composta por plagioclásio, quartzo, granada e biotita, de granulometria fina a média e textura maciça.

Ao percorrer um trajeto no centro da cidade do Rio de Janeiro, que vai da Avenida Presidente Vargas e segue pela Rua Primeiro de Março, é possível identificar nas fachadas de diversos prédios históricos a utilização dessas rochas. Observa-se que a maioria desses monumentos encontra-se em estado avançado de deterioração, que pode ser decorrente à localização, na região portuária da cidade, sob a influência de diversos agentes de intemperismo, como a poluição e a alta umidade, potencializados pela exposição à salinidade, além do crescimento de microorganismos.

Por meio desse estudo comprova-se a importância da caracterização tecnológica como uma ferramenta que pode ser aplicada nos estudos *in situ* e no auxílio de restaurações, não só dos prédios estudados, mas também de outros monumentos pétreos, contribuindo assim, para a proteção e divulgação da nossa herança geológica. A partir dos resultados, o presente trabalho apresenta discussões sobre as possibilidades de um melhor emprego das técnicas de preservação e tratamento mais eficaz contra as patologias encontradas nos materiais rochosos.

2. OBJETIVOS

Compreender a extensão e a distribuição do intemperismo em rochas ornamentais, seus processos e fatores controladores, verificados a partir de ensaios tecnológicos de alterabilidade *in situ* e em laboratório.

3. METODOLOGIA

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Pesquisas sobre o tema e o histórico dos seguintes monumentos: Igreja Nossa Senhora da Candelária, Centro Cultural Banco do Brasil, Centro Cultural da Justiça Eleitoral, Igreja de Santa Cruz dos Militares e a Igreja da Ordem Terceira do Carmo.

3.2 Trabalhos de Campo

1 3.2.1 Identificação das Patologias e Registro Fotográfico

Foram identificadas as patologias presentes nos prédios históricos estudados e foi feito o registro fotográfico levando em consideração o seu posicionamento em relação à Baía de Guanabara e às ruas, potenciais fontes de poluição.

3.2.2 Coleta De Solução Salina

A coleta foi realizada nas fachadas dos prédios utilizando frascos plásticos estéreis com tampas à prova de vazamento, com o auxílio de uma piceta contendo água destilada para lavar uma pequena porção da fachada. O líquido coletado foi armazenado nos frascos, identificados com as informações necessárias para posterior medição em laboratório da salinidade. Foram feitas coletas em diferentes lugares das diversas fachadas.

3.2.3 Utilização de Aparelho Portátil de Temperatura

A medição da temperatura *in situ* foi realizada em diferentes pontos das fachadas dos prédios, em diferentes horários, utilizando o aparelho termômetro infravermelho da marca *Contemp*.

3.3 Análises laboratoriais

Foram realizadas no Laboratório de Alterações do CETEM análises químicas e de salinidade nas soluções coletadas. As análises de salinidade foram realizadas com um Condutivímetro Portátil mCA 150P, da marca *MaxLabor*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Igreja Nossa Senhora da Candelária

Localizada entre as duas faixas da Avenida Presidente Vargas, de frente para a Baía de Guanabara, a Igreja é prejudicada por diversas patologias como manchas de urina, oxidação, umidade, pichações, crosta negra, deslocamento, perda de massa, perda de brilho, entre outras. Nota-se que as placas mais danificadas eram aquelas formadas por leptinito. Contudo, a lateral mais degradada é a voltada para o norte, na qual o padrão de alteração muda, e as placas de gnaiss estão mais intemperizadas, formando até mesmo um estufamento atípico nesse tipo de rocha.

4.2 Centro Cultural Banco do Brasil

Localizado próximo ao cruzamento da Avenida Presidente Vargas com a Rua Primeiro de Março, o prédio passa por uma reforma desde o ano de 2005. Devido a isso, poucas patologias foram identificadas, dentre elas, a mais evidente é a estranha coloração esbranquiçada do gnaiss facoidal. Além dela, foram observadas outras intervenções inadequadas no preenchimento de porfiroblastos de plagioclásio com fragmentos de rocha e argamassa de coloração muito diferente, além de manchas de urina, de oxidação e de crostas negras. Na fachada localizada na Travessa Tocantins, foram observadas diversas fraturas nas molduras das janelas.

4.3 Centro Cultural da Justiça Eleitoral

O prédio passou por uma reforma em 2008 e 2009, sua fachada é feita em mármore, granito e leptinito. O mármore encontra-se um manchado e, em algumas partes é possível observar a dissolução da rocha, formando pequenas estalactites. Este efeito é típico de ambiente altamente poluído, onde as rochas menos resistentes são atingidas mais fortemente. Na parte de granito e leptinito, além de manchas de urina e crostas negras, foram observadas manchas nas placas de rocha, devida à aplicação indevida do produto provavelmente aglomerante que foi utilizado durante a reforma. Essas manchas são muito evidentes quando analisados os vértices das pequenas pirâmides decorativas e das molduras das janelas da fachada.

4.4 Igreja de Santa Cruz dos Militares

Devido ao estado de conservação precário dessa igreja, que não tem nenhum registro de restauração ao longo da sua existência, muitas patologias puderam ser registradas. Em sua fachada de gnaiss facoidal, foi possível identificar manchas nas estátuas decorativas, nas bases das sacadas e na própria fachada, causadas tanto por umidade, quanto por poeira e urina, além de intensa perda de massa e fraturamento do gnaiss.

4.5 Igreja da Ordem Terceira do Carmo

Localizada ao lado da Igreja de Nossa Senhora do Carmo (Antiga Sé) e em frente ao Largo do Paço, em direção à Baía de Guanabara, sua fachada é feita em placas de leptinito, calcário lioz e alvenaria. A patologia que mais se destaca nesse monumento é a intensa perda de massa ao longo de toda extensão da fachada principal. Também há manchas de crosta negra, no entanto, elas não são tão pronunciadas devido ao seu posicionamento de frente para a baía, o que proporciona boa ventilação e menor deposição. Nos degraus da entrada observa-se uma forte diferença de tonalidades no gnaiss facoidal e desgaste do mesmo. No portal é possível notar manchas escuras no calcário.

4.6 Dados em geral

Nos gráficos abaixo são apresentados os dados de salinidade e de temperatura dos pontos marcados na Igreja da Candelária e no Centro Cultural do Banco do Brasil (CCBB). Pode-se observar uma variação grande nos valores de salinidade, principalmente daquelas coletadas na Igreja da Candelária com valores máximos de 1730 ppm, com média de 410,94 ppm. Os valores de temperatura medidos pela manhã variavam de acordo com a posição do sol em relação às fachadas.

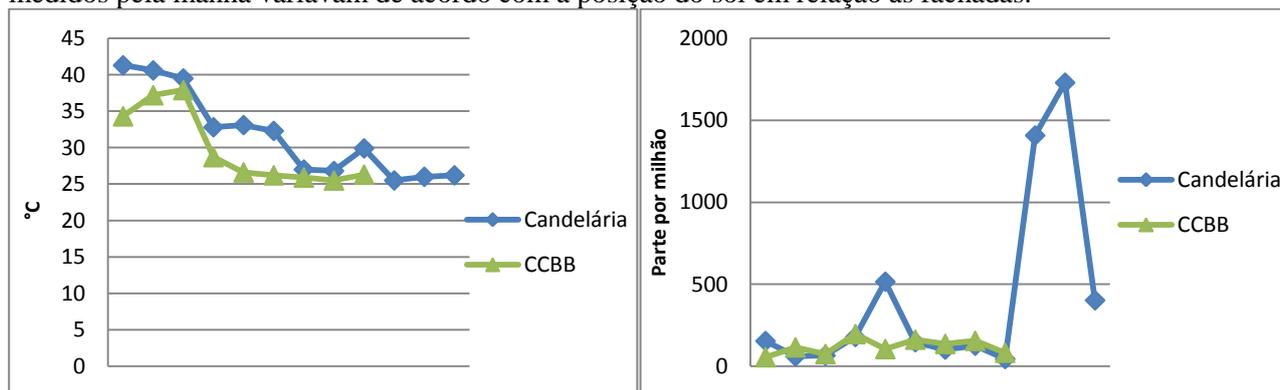


Figura 1: Medições de temperatura das fachadas.

Figura 2: Medições de salinidade nas fachadas.

De maneira geral, em todos os prédios históricos estudados pode-se observar patologias relacionadas às condições climáticas (Figura 3), ambientes de alta poluição, exposição a sprays salinos e intensa ação antrópica.



Figura 3: Deslocamento na Igreja da Candelária e mancha de umidade na Igreja Santa Cruz dos Militares.

A salinidade é um agente muito agressivo para os diversos tipos de rochas, pois não somente destroem os materiais pétreos com a cristalização de sais, mas também pode impedir um tratamento de conservação por impregnação, devido à redução da capilaridade. Desse modo, previamente seria necessário realizar uma dessalinização para o sucesso das intervenções de restauração. Observa-se que no gnaiss facoidal, a degradação está relacionada principalmente à cristalização de minerais de sais solúveis e à percolação de fluidos. Esta começa nos pontos mais frágeis da peça, como pequenas fraturas ou fissuras, e tem seu crescimento favorecido pela a ação das soluções ácidas. Em estágio mais avançado há deslocamento (Figura 3) e perda de massa. Já nos leptinitos, além dos efeitos descritos acima, verifica-se mais intensamente a degradação devido à perda de coesão entre os grãos, tornando-se desagregável, o que beneficia o fenômeno da perda de massa.

A ação antrópica também age para a degradação dos dois tipos de rochas, seja causando o manchamento, pichando (Figura 4) ou fazendo intervenções inapropriadas (Figura 3) para a conservação ou restauração registradas em alguns prédios estudados.



Figura 4: Mancha de pichação na Igreja da Candelária e mármore em solução no CCJE.

As crostas negras (Figura 5) formadas nas áreas protegidas das águas pluviais influenciam tanto na absorção de água, como também na difusão de vapor de água. Elas são causadas principalmente por poeira emitida no trânsito de veículos.



Figura 5: Intervenção inadequada no preenchimento de porfiroblastos no CCBB e crosta negra e excesso de produto no CCJE.

5. CONCLUSÃO

São fatores predominantes nos processos de degradação das formações rochosas as características mineralógicas e texturais da rocha-fonte, o clima e as condições ambientais aos quais a última está submetida. Por meio de estudos das reações químicas atuantes, diz-se o clima como principal agente intempérico, seguido pela presença antrópica que, por meio de fluidos como a urina e a água da chuva, tem participação decisiva na deterioração dos monumentos.

Como não existe um modelo geral de degradação que contemple todas as condições, os tipos de rochas e as morfologias patológicas presentes, os projetos de conservação e restauração a serem implantados devem ser direcionados a cada monumento em particular, bem como a realização de testes nos materiais a serem utilizados, de forma a demonstrar a sua eficácia com base técnico-científica.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro e ao CETEM pela infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, A. L. C. S., SILVA, M. M., NETO, J. A. B., SMITH, B. e McALISTER, J. **Produtos do intemperismo e avaliação do nível de deterioração em rochas ornamentais da Fortaleza de Santa Cruz (Niterói, RJ)** - Rev. Tamoios, ano 08, n. 1, pp 52-67.

ESTUDO DA INTERAÇÃO DE PROTETIVOS E MINERAIS NO RESTAURO DE MONUMENTOS PÉTREOS

Daniel Silva Barbutti

Aluno de Graduação de Química Industrial, UFRJ.
Período PIBIC/CETEM: Setembro de 2013 a Julho de 2014,
dbarbutti@cetem.gov.br

Rosana Elisa Coppedê da Silva e
Orientadora, Engenheira Geóloga, D.Sc.
rcoppede@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Monumentos históricos pétreos localizados em ambientes externos são expostos a efeitos de intemperismos mecânico, físico, químico e biológico (ÖZTÜRK, 1992), que afetam suas composições internas e superfícies. Com a poluição crescente nos principais centros urbanos, é de grande importância entender os mecanismos atrelados a estes ataques e desenvolver métodos otimizados de proteção e consolidação das rochas ornamentais utilizadas nestes bens. A proteção dos monumentos rochosos é geralmente realizada a partir da aplicação de filmes poliméricos, que buscam reduzir a tensão superficial do substrato rochoso (FERRI *et al.*, 2011) e ocupar o máximo de interstícios possíveis em seu interior. Assim, é possível adicionar uma camada hidrofóbica à superfície e fortalecer o interior, impedindo a interação com agentes destrutivos. No entanto, a seleção do protetor adequado é decisiva para garantir a integridade da composição interna e preservar a coloração original, que algumas vezes são modificados de forma irreversível.

2. OBJETIVOS

Verificar a interação dos minerais quartzo, feldspato, mica e calcita, presentes nas rochas mais comumente utilizadas em revestimentos e monumentos, com protetivos comerciais, a fim de direcionar as atividades de restauro com o protetivo mais adequado para cada tipo de rocha.

3. METODOLOGIA

3.1 Amostras Utilizadas

Foram utilizados dois tipos de protetivos comerciais, que serão chamados protetivo A e B. Os minerais utilizados foram quartzo, mica, feldspato e calcita. Para uma observação da interação com matrizes rochosas complexas, foram selecionadas as seguintes rochas, comercialmente chamadas de Granito Preto, Granito *Venetian Gold*, Granito Ás de Paus e Pedra Cariri.

3.2 Caracterização das Amostras

3.2.1 Análise Química e Mineralógica

As amostras foram caracterizadas a partir de Difração de Raios-X (DRX) e Fluorescência de Raios-X (FRX) pela Coordenação de Análises Minerais (COAM) do CETEM.

3.2.2 Índices Físicos

Os ensaios foram realizados de acordo com as normas ABNT/NBR 12.766:1992, a fim de se determinar as massas específicas das amostras, bem como porosidade e absorção de água das mesmas, antes e após aplicação dos protetivos.

3.3 Caracterização dos protetivos

Os protetivos foram avaliados por meio de infravermelho em um espectrofotômetro Bomem FTIR, série MB100 utilizando-se 1 mg de amostra e 99 mg de KBr de grau espectroscópico. Avaliou-se a região de 4 000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} .

3.4 Interação Mineral / Protetivo

3.4.1 Espectrofotometria na Região do Ultravioleta

As rochas e minerais foram avaliados quanto à sua interação com os protetivos por meio de um equipamento de espectrofotometria da marca *LaMotte*. Foram preparadas soluções diluídas do protetivo A, utilizando água Milli-Q como solvente, nas concentrações 0,5%, 1,0%, 2,0% e 5,0%. Em tubos Falcon, foram adicionados 10 mL de cada solução e 0,5g de mineral. Os tubos foram agitados durante aproximadamente 6 h, posteriormente centrifugados por 30 min. e o sobrenadante foi analisado em UV a 775 nm. O procedimento supracitado foi repetido com o protetivo B, alterando o solvente para hexano P.A e as concentrações para 10%, 40%, 70% e 100%. O comprimento de onda utilizado foi de 400nm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Química

A Figura 1 apresenta os resultados das análises químicas das amostras de rochas. É possível verificar os maiores teores de sílica na rocha *Venetian Gold*, cerca de 75%, possivelmente associado aos minerais quartzo e feldspato. Os granitos As de Paus e Preto apresentam quantidades menores de sílica e teores mais elevados de alumina, indicando um maior teor de feldspatos nessas rochas. No entanto, observa-se um teor de ferro mais elevado no granito preto, possivelmente associado à mica. No que tange ao calcário Cariri, verifica-se que mais de 50% do material é constituído de CaO.

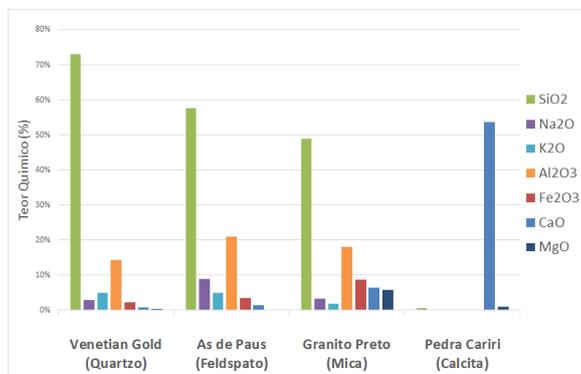


Figura 1: Análise Química (FRX) das amostras de rochas.

4.2 Análise Mineralógica

Os resultados da análise mineralógica corroboram as análises químicas, onde se pode verificar que a amostra *Venetian Gold* apresentou o maior teor de quartzo (cerca de 40%) e cerca de 50% de feldspatos. Os granitos *As de Paus* e *Granito Preto* apresentam baixos teores de quartzo, cerca de 1% e 10%, respectivamente, porém os maiores teores de feldspatos, cerca de 65% e 50%, respectivamente. Já a *Pedra Cariri* apresenta cerca de 98% de calcita.

4.3 Determinação dos Índices Físicos

As amostras de granito apresentaram valores de absorção em torno de 0,5%, na sua forma natural e após a aplicação dos protetivos a absorção de água tornou-se zero quando aplicado o protetivo A e cerca de 0,2% quando utilizado o protetivo B. Já a *Pedra Cariri*, apresenta absorção em torno de 3% e teve uma redução para cerca de 2% quando aplicado o protetivo A e nenhuma alteração quando aplicado o protetivo B. O mesmo comportamento se procedeu com a porosidade das rochas, observando-se reduções mais significativas para o protetivo A do que o B. Os granitos tiveram sua porosidade reduzida de 1% para cerca de 0,2% com o protetivo A e pouca alteração com o protetivo B. Já o calcário teve a porosidade reduzida de 6,5% para 5% com o protetivo A e pouca variação com o protetivo B.

4.4 Avaliação da Interação Mineral x Protetivo por UV

As figuras 2 e 3 representam as interações entre os minerais e os protetivos A e B, respectivamente. Observa-se que o aumento da concentração de protetivo propicia a adsorção na superfície de todos os minerais. No entanto, o protetivo A mostrou-se mais eficaz, visto que em concentrações menores já atingiu quase 100% de adsorção e o protetivo B não ultrapassou 80%, mesmo nas maiores concentrações. Tais resultados legitimam os resultados de índices físicos. Além disso, verifica-se que a mica e a calcita foram os minerais com melhor interação com os protetivos. Tal fato pode estar associado à estrutura lamelar de filossilicatos como as micas, além da substituição de silícios por alumínio na estrutura cristalina das mesmas, gerando um excesso de cargas negativas, que é compensada pela presença de íons ferro. Além disso, o alumínio é altamente polarizante, realizando predominantemente ligações eletrostáticas e fortalecendo interações, principalmente, com oxigênio das resinas, com maior intensidade e estericamente favorecido com o protetivo A. Já a melhor adsorção na superfície da calcita se dá pelo fato do íon carbonato, principal constituinte da calcita, possuir pares de elétrons livres nos oxigênios que podem promover ligações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio com o protetivo.

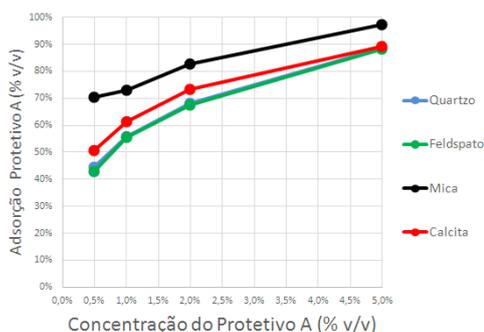


Figura 2: Adsorção do protetivo A.

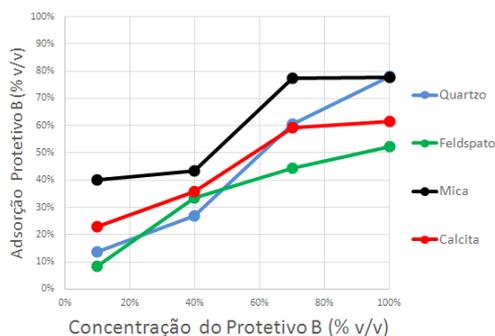


Figura 3: Adsorção do protetivo B.

4.5 Caracterização dos Protetivos

Baseado nos resultados de infravermelho, pôde-se estruturar as moléculas representativas dos protetivos A (Figura 4) e B (Figura 5). A molécula do protetivo A, ilustrada na Figura 4, apresenta uma extensa cadeia carbônica, responsável em aumentar a hidrofobicidade das rochas, e em sua extremidade um grupamento éster, onde os oxigênios, com pares de elétrons livres conseguem realizar ligações intermoleculares com os minerais com mais facilidade e maior aderência que o protetivo B. O protetivo B apresenta uma extensa cadeia de silanos, onde os oxigênios encontram-se no meio da cadeia, sendo mais difícil a interação com a superfície das rochas devido a impedimentos estéricos.

Na Figura 6, esquematizou-se a superfície da rocha no centro e se pode verificar a maior interação do protetivo A do que do protetivo B, devido aos fatos anteriormente relatados.



Figura 4: Protetivo A.

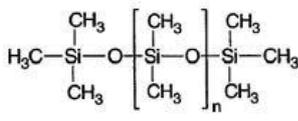


Figura 5: Protetivo B.

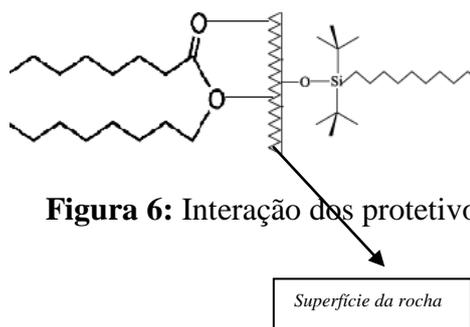


Figura 6: Interação dos protetivos com a rocha.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados, é possível concluir que as rochas ricas em micas e calcita tendem a apresentar resultados superiores após o tratamento com protetivos. Além disso, verificou-se que protetivos comerciais agem de forma diferente na superfície das rochas, devido à impedimentos estéricos e composição diferenciada dos protetivos, que apresentam sítios ativos que podem se ligar com maior facilidade à superfície mineral. Deste modo, mediante análise prévia, é possível aplicar um protetivo mais adequado para a preservação de determinado revestimento ou monumento, evitando o uso de produtos que possam afetar negativamente o mesmo.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, aos colaboradores da CATE, especialmente aos integrantes do Laboratório de Rochas Ornamentais e ao CNPq pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÖZTÜRK, Isil. **Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials**. Tese (Mestrado) – Programa de Graduação em Preservação Histórica, Universidade da Pensilvânia, Pensilvânia, Estados Unidos. 1992, 214p.

FERRI, L. et al. **Study of silica nanoparticles – polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection**. Journal of Cultural Heritage, v. 12, Elsevier. Itália, 2011.

GERAÇÃO DE TUBETES DE PLANTIO CONSTITUÍDOS DE POLÍMERO BIODEGRADÁVEL E RESÍDUOS MINERAIS

Isabella Andrade Brum

Aluno de Graduação de Engenharia Química, UFRJ.
Período PIBIC/CETEM: Setembro de 2013 a julho de 2014,
brumisabella@hotmail.com

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Professor Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas brasileiros são latossolos que apresentam grande profundidade, baixa capacidade catiônica, alta permeabilidade, acidez, altos teores de alumínio trocável e deficiência de nutrientes, principalmente de cálcio, magnésio e de fósforo. Além disso, por meio da lixiviação, os solos perdem minerais essenciais empobrecendo-se ainda mais (MACHADO, 2012).

Tal fato obriga cada vez mais o Brasil a ser um dos maiores dependentes do consumo de fertilizantes no mundo, sendo a China a maior detentora da produção dos mesmos. Dessa forma, o Governo Federal Brasileiro vem incentivando pesquisas na área de produção de novos fertilizantes minerais, por meio de rochagem, que é a remineralização do solo por meio da aplicação de pós-de-rocha e da calagem, que consiste na regularização do pH do solo, também por meio de aplicação de pós de rochas ricos em cálcio e magnésio (MACHADO, 2012).

Atualmente, o sistema de plantio brasileiro consiste na aplicação de mudas ao solo por meio de tubetes ou vasos biodegradáveis que permitem a fixação das plantas no solo e ao longo do tempo se deterioram e são absorvidos pelo solo (CAZOTI, 2011).

2. OBJETIVO

Baseado nos fatos relatados, o presente trabalho tem como objetivo estudar a aplicação de resíduos minerais na produção de tubetes ou vasos agrícolas biodegradáveis, verificando sua atuação como fonte de nutrientes para as plantas à medida que são deteriorados no solo.

3. METODOLOGIA

3.1 Origem dos Materiais

Os resíduos minerais são oriundos do beneficiamento das seguintes rochas: calcário sedimentar, mármore, feldspato potássico e fosfato. Tais resíduos são identificados respectivamente pela seguinte nomenclatura: CS, CM, FD e FO. O polímero utilizado é conhecido como ECOFLEX, que é um polímero biodegradável de base fóssil, oriundo da empresa BASF.

3.2 Caracterização dos resíduos

Os resíduos foram pulverizados e peneirados à úmido até a obtenção de tamanhos de partícula inferiores a 0,149 mm. Após o peneiramento, os resíduos foram secos em estufa a 70 °C por 24 horas e, em seguida, desagregados. Os mesmos foram caracterizados por FRX e DRX na Coordenação de Análises Mineraias do CETEM (COAM).

3.3 Processamento dos Corpos de Prova

Para geração dos tubetes foram processados compósitos utilizando o ECOFLEX e cada um dos resíduos, nas proporções de 30 e 40%, em massa. Os mesmos foram preparados por intercalação no estado fundido em extrusora dupla rosca, marca Extrusão Brasil e modelo laboratorial com L/D=26, com velocidade de rotação igual a 150 r.p.m. e perfil de temperatura igual a 70/100/110/120/130/140 °C. A velocidade do granulador foi de 25 r.p.m. e do dosador de 15 r.p.m. Todos os compósitos preparados foram moldados por injeção em máquina Battenfeld modelo Plus 35, a 140°C, para a confecção de corpos de prova para avaliação das propriedades mecânicas e químicas.

3.4 Comportamento Mecânico

As propriedades mecânicas dos compósitos foram determinadas por ensaios de tração e impacto izod, segundo as normas ASTM D-638 e D-256, respectivamente. Os ensaios de tração foram realizados em máquina universal de ensaios, marca EMIC modelo DL 3000, com célula de carga de 1KN, velocidade de separação entre as garras de 10mm/min. Os ensaios de resistência ao impacto foram realizados em equipamento de impacto para plásticos no modo Izod com pêndulo de 2,7J de energia nominal. Os corpos de prova foram entalhados a $2,5 \pm 0,05$ mm de raio de curvatura e ângulo de 45°, em um entalhador acoplado com faca em "V". Após o entalhe nos corpos de prova, os mesmos foram avaliados em MEV para verificação da dispersão dos minerais na matriz polimérica.

3.5 Ataque ácido aos corpos de Prova

A fim de se avaliar o processo de degradação dos corpos de prova gerados e da liberação dos nutrientes, realizou-se um ataque ácido (H₂SO₄), simulando o efeito do pH de um latossolo, que varia em torno de 5. Foram retiradas alíquotas diárias de ácido para determinação dos teores de cálcio, potássio e fósforo, por meio de absorção atômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 pode-se verificar o comportamento do impacto dos compósitos de 30 e 40%, em massa de cada um dos resíduos. Pode-se observar que o aumento de carga dos resíduos carbonáticos aumenta a resistência ao impacto, devido, possivelmente a maior interação dos carbonatos com o polímero e até mesmo das características dessas rochas. Os resíduos de mármore (CM) conferem maior dureza ao compósito, uma vez que se trata de uma rocha com maior dureza que os resíduos oriundos de calcários sedimentares (CS). A adição de carga faz com que a resistência ao impacto aumente de 0,9 J para 1,0 J no calcário sedimentar e de 1,0 J para 1,2 J nos resíduos de mármore. No que tange aos compósitos formados por resíduos de feldspato potássico (FD) ou fosfato (FO), verifica-se que o aumento de carga mineral reduz a resistência ao impacto,

indicando a má interação desses minerais com a matriz polimérica, favorecendo sua liberação para o solo durante a degradação do polímero.

Em termos de tração, os compósitos apresentaram o mesmo comportamento dos resultados de impacto, pois na Figura 2 pode-se observar que o aumento de carga favorece a resistência à tração dos compósitos constituídos de resíduos carbonatados e diminui para os compósitos formados por resíduos de potássio ou fosfato.

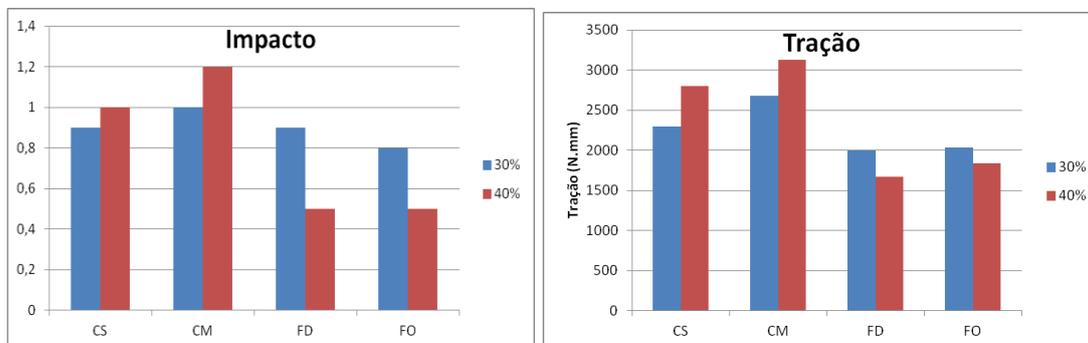


Figura 1: Resultados de impacto dos compósitos. **Figura 2:** Resultados de tração.

As figuras 3 e 4 apresentam os resultados de liberação de cálcio, potássio e fósforo, após ataque ácido nos compósitos de 30 e 40%, em massa, respectivamente.

Pode-se verificar que as concentrações dos elementos de interesse aumentam a medida que o tempo aumenta, indicando que a degradação do polímero favorece a liberação dos elementos. Além disso, pode-se verificar que o elemento cálcio é extraído com mais dificuldades do compósito, uma vez que o carbonato de cálcio coordena-se com a estrutura do polímero, dificultando a saída do cálcio e ao mesmo tempo aumentando a resistência mecânica do material.

Em relação ao potássio e fósforo, verifica-se o aumento de concentração desses elementos de forma mais proeminente, chegando-se a cerca de 150 mg/L, em torno de 170h, quando se trata do compósito contendo apenas 30%, e que o cálcio não atinge nem 110 mg/L nas mesmas condições.

Por fim, há que se observar que a liberação de fósforo e potássio dos compósitos de 40% é muito mais efetiva, ultrapassando-se valores em torno de 200 mg/L. Em termos de cálcio, a liberação é muito lenta, chegando a ser menor que a do compósito com 30%, corroborando a maior interação desses resíduos com a matriz polimérica.

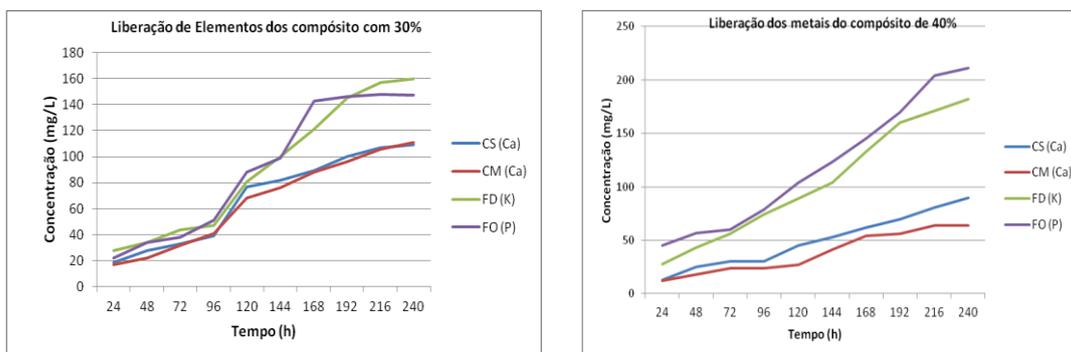


Figura 3: Liberação de Ca, K e P dos compósitos com 30%. **Figura 4:** Liberação de Ca, K e P dos compósitos com 40%.

Na Figura 5A pode-se verificar por meio do MEV a distribuição uniforme do resíduo de calcário sedimentar na matriz polimérica, indicando a boa interação entre carga e

polímero, comprovando os melhores resultados mecânicos e a liberação de cálcio mais dificultada. Na Figura 5 B, observa-se uma distribuição pouco homogênea do resíduo de fosfato, indicando a má interação com a matriz polimérica, explicando-se os resultados mecânicos menos eficazes e a maior liberação desses elementos.

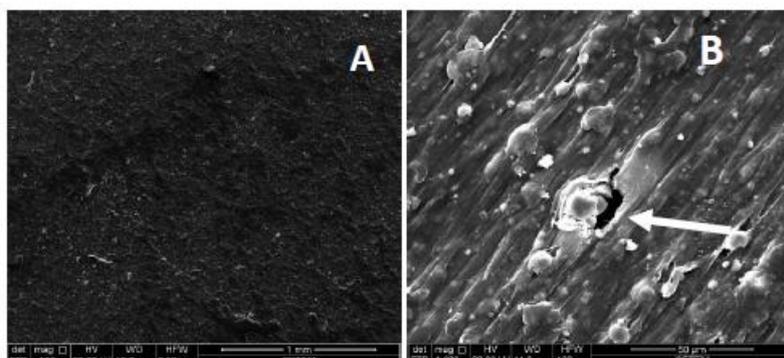


Figura 5A: Matriz polimérica com CS. **Figura 5B:** Matriz polimérica com FO.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que resíduos minerais de fósforo e potássio podem ser aplicados na matriz de biopolímeros e proporcionar baixa interação química aos mesmos, gerando compósitos de baixa resistência mecânica, facilitando a liberação de fósforo e potássio para fertilização do solo durante a degradação do polímero no solo. Em termos de resíduos que apresentam cálcio, os mesmos interagem quimicamente com a matriz polimérica, fazendo com que os compósitos sejam mais resistentes, proporcionando uma saída mais lenta do cálcio para ser utilizado como corretivo de pH de solo.

6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, ao CETEM e ao INT pela infraestrutura e também à pesquisadora Márcia Gomes de Oliveira do INT.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACHADO, R. V. – Utilização de Rejeitos Oriundos de Corte de Rochas Ornamentais na Correção de Acidez e Adubação de Solos Tropicais, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), 2012.

CAZOTTI, M. M. – Resíduos de Rochas Ornamentais Associados à Compostagem e o Desenvolvimento do Pinhão Manso, XIX Jornada de Iniciação Científica do CETEM, 2011.

PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE NO SETOR AGRÍCOLA

Dghean Zuccon Fazolo

Aluno de Graduação de Engenharia de Minas, 10º período, IFES

Período PIBIC/CETEM: setembro de 2013 a julho de 2014,

dfazolo@cetem.gov.br

Gilson Ezequiel Ferreira

Orientador, Economista Mineral, D.Sc.

gferreira@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Coorientador, Eng. Químico, D.Sc.

rcarlos@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O setor de beneficiamento de mármore do estado do Espírito Santo gera mensalmente 1,85 mil m³ de efluente sob a forma de lama pastosa. (SOUSA e VIDAL, 2005 *apud* RAYMUNDO, 2008). A grande preocupação ambiental que envolve o manejo e a deposição desses resíduos pode ser evitada com o seu aproveitamento no setor agrícola, conforme estudos de Raymundo (2008). Com base na viabilidade técnica, viu-se a necessidade de se realizar um estudo econômico para verificar a viabilidade de transformar a lama do beneficiamento de mármore em calcário agrícola e comercializá-la.

2. OBJETIVOS

Verificar a pré-viabilidade econômica do aproveitamento de resíduo do beneficiamento de mármore no setor agrícola.

3. METODOLOGIA

O estudo contemplou um levantamento bibliográfico da viabilidade técnica do aproveitamento do resíduo de mármore como corretivo de acidez de solo, a fim de ser conhecer as características físicas e químicas da lama que as marmorarias produzem e as exigências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA para comercializá-la como calcário agrícola. O estudo de mercado foi baseado na própria região levando-se em consideração a vocação agrícola regional.

O levantamento do investimento inicial para a compra dos equipamentos que são necessários para adequar o resíduo das marmorarias ao mercado agrícola foi realizada por meio de e-mails e telefonemas às empresas fornecedoras. Após a coleta de todas as informações necessárias, executou-se o levantamento dos custos operacionais, receitas, empréstimo, capital de giro, depreciação e amortização para montagem do fluxo de caixa e a análise econômica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo simula uma empresa de beneficiamento de mármore de médio porte. A empresa produz mensalmente 320 t de lama proveniente de dois teares diamantados, que são responsáveis pela serragem dos blocos, do processo de corte das chapas em ladrilhos e do polimento dessas chapas. Atualmente, em Cachoeiro de Itapemirim – ES, é comum que o resíduo provindo exclusivamente das rochas carbonáticas seja coletado por uma empresa especializada que o destina para a fabricação de argila, não gerando custos de coleta para a empresa produtora. Comercialmente, o calcário agrícola não pode ter umidade. O resíduo, após

passar pelo filtro prensa encontra-se com 25% de umidade, portanto é necessário secá-lo antes de ensacar.

O resíduo que sai do filtro prensa é levado ao secador rotativo por meio de um transportador helicoidal. O secador possui 1,5 m de diâmetro, 6 m de comprimento e suporta até 2 t de resíduo úmido por hora. O combustível usado para eliminar a umidade da lama é o gás LP que vai circular dentro do secador com o auxílio de um ventilador centrífugo. O resíduo, já seco, passa pelo ciclone para limpeza dos gases, sendo então depositado em um silo por meio do elevador de canecas de 6 m de altura. O investimento somente para secar a lama é orçado em aproximadamente 60% dos R\$ 283.145,00 necessários para toda a produção, conforme Tabela 1. A exigência de um produto final sem umidade faz com que o investimento em secagem seja elevado.

O silo tem capacidade para armazenar 15 t do resíduo seco, o que representa pouco mais de um dia de produção, o investimento, junto com a válvula de gaveta, é de R\$ 13.800,00. A válvula de gaveta tem a função de controlar a vazão do produto que sai do silo e vai para a ensacadeira. A ensacadeira automática custa R\$ 38.000,00 e possui capacidade para ensacar 6 t/h de calcário em sacos plásticos de 50 kg. Para movimentar os sacos ao depósito tem-se uma cinta transportadora com 6 m de comprimento. O depósito é coberto, para evitar que a chuva molhe o estoque e está localizado dentro do pátio da própria empresa, com capacidade para um mês de produção (240 t). Para garantir a qualidade do produto final, devem ser realizados diariamente ensaios físicos e químicos no laboratório montado dentro da empresa. Para operar toda a produção é necessário um ensacador e um técnico em química responsável pelos ensaios.

Os demais investimentos iniciais estão previstos na a construção de um galpão de 100 m², nas instalações elétricas e na montagem de um laboratório para as análises físicas e químicas do calcário, totalizando R\$ 283.145,00. Os equipamentos podem ser financiados pelo BNDES FINAME, que oferece baixas taxas de juros. O capital de giro necessário para manter a empresa em funcionamento é de R\$ 10.568,75.

Tabela 1: Investimentos iniciais

EQUIPAMENTO	PREÇO (R\$)
Transportador Helicoidal	R\$ 10.212,00
Transportador Helicoidal com bocal	R\$ 8.657,00
Secador Rotativo 1 fase	R\$ 84.292,00
Ventilador Centrífugo	R\$ 12.698,00
Conjunto ciclone tubulação e válvula rotativa	R\$ 19.729,00
Transportador Helicoidal com válvula rotativa	R\$ 14.437,00
Elevador de canecas	R\$ 28.000,00
Silo 15t	R\$ 10.000,00
Válvula de gaveta	R\$ 3.800,00
Ensacadeira Automática	R\$ 38.000,00
Cinta transportadora	R\$ 22.000,00
Carrinho de transporte	R\$ 1.200,00
Galpão 100m ²	R\$ 8.000,00
Laboratório	R\$ 2.000,00
Instalações	R\$ 2.000,00
Montagem dos equipamentos	R\$ 18.120,00
TOTAL	R\$ 283.145,00

O custo operacional para transformar a lama do processo de beneficiamento do mármore em calcário agrícola é de R\$ 50,21 por tonelada, conforme Tabela 2. O maior custo operacional é com funcionários, esse custo fixo pode inviabilizar o projeto se a produção da empresa for muito pequena.

Tabela 2: Custos operacionais

ITEM	CUSTO MENSAL	CUSTO P/ TONELADA
Funcionários + Encargos	R\$ 4.400,00	R\$ 18,33
Gás LP	R\$ 2.400,00	R\$ 10,00
Energia elétrica	R\$ 700,00	R\$ 2,92
Embalagens plásticas	R\$ 3.850,00	R\$ 16,04
Administrativo + Vendas	R\$ 700,00	R\$ 2,92
TOTAL	R\$ 11.350,00	R\$ 50,21

Se por um lado, as informações passadas pelo MAPA ao autor indicam que, em 2012 foram produzidas 315.674,21 t de calcário pelas moageiras no Espírito Santo, no mesmo ano, o mercado capixaba consumiu 211.885,68 t e vendeu 103.721,91 t para outros estados, estocando, somente nesse ano, 66,62 t de calcário agrícola. O mesmo levantamento indicou que no período de 2007 a 2012 o estado produziu 1.855,34 toneladas a mais do que consumiu.

Por outro lado, estudos realizados pelo setor produtor constataram que setor agrícola teria capacidade de absorver anualmente cerca de 70 milhões de toneladas, para uma capacidade instalada total de moagem no país na ordem de 50 milhões de toneladas/ano, entretanto, o setor consumidor utilizou em 2007 apenas aproximadamente 40% dessa capacidade instalada (SILVA, 2009).

O preço médio de venda FOB do calcário agrícola no estado do Espírito Santo é de R\$ 70,00, de acordo com o levantamento de mercado. Considerando que a empresa venda os 240 t de calcário produzidos mensalmente, a receita anual vai ser de R\$ 201.600,00.

A montagem do fluxo de caixa da empresa levou em conta a depreciação de 5 anos para os equipamentos de laboratório, 10 anos para os equipamentos da linha de produção e 25 anos para o galpão. A taxa de impostos incidentes sobre o lucro tributável considerada foi de 24%.

Para uma vida útil de 20 anos, a análise econômica apresentou taxa interna de retorno – TIR de 24,44% com a recuperação do investimento – *Payback* de 6 anos. Conforme Tabela 3.

Tabela 3: Análise econômica do investimento

VA (10%)	R\$ 117.946,26
<i>Payback</i>	6 anos
TIR	24,44%

5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que economicamente é viável investir no aproveitamento do resíduo de mármore para aplicação no setor agrícola. Apesar do baixo preço de mercado do calcário agrícola, o valor atual – VA do investimento é estimado em quase R\$ 120.000,00 de lucro para uma vida útil de 20 anos, considerando uma taxa de desconto de 10% ao ano. Além do retorno financeiro, as empresas podem contribuir com a diminuição da geração de resíduos.

Estudos mais detalhados devem ser realizados pelas marmorarias interessadas em aproveitar o seu resíduo, é importante salientar a competitividade atual do mercado; as moageiras já atendem

toda a demanda regional e em curto prazo não há expectativa de um aumento significativo do consumo na agricultura.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço as empresas que colaboraram, em especial a Samil e a RCA Máquinas Industriais, com os orçamentos e projetos. Aos Srs. Luiz Zampirolli, da Sulcamar, e Pedro Sergio de Souza, do MAPA, pelas informações essenciais ao projeto, Ao Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral, aos amigos pelo apoio e ao CNPq pela bolsa concedida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, Gilson Ezequiel; ANDRADE, José Guedes de. *Elaboração e Avaliação Econômica de Projetos de Mineração*. In: LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina A. (Ed.). **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2010. Cap. 20. p. 899-932..

RAYMUNDO, Valério. **USO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE MÁRMORES DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DE SOLOS**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Departamento de Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

SILVA, José Otávio da. **PROJETO ESTAL: PERFIL DO CALCÁRIO AGRÍCOLA**. 2009. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P29_RT55_Perfil_do_Calcxrio_Agrxcola.pdf>. Acesso em: 30 maio 2014.

ESTUDO ECONÔMICO PARA O USO DO BEGE BAHIA COMO CARGA EM COMPOSTOS POLIMÉRICOS

Carlos Alberto Félix Fonseca Junior

Engenheiro de Produção - Universidade Cândido Mendes - UCAM

Período PIBIC/CETEM : agosto de 2013 a julho de 2014,

cajunior@cetem.gov.br

Gilson Ezequiel Ferreira

Orientador, Eng. Mineral, D.Sc.

gferreira@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O mármore bege Bahia, como é conhecido comercialmente no setor de rochas ornamentais, é uma rocha calcária abundante na região do rio Salitre, que é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, e provém de alterações de calcários de formação salitre. A extração desse mármore se concentra no pólo industrial entre as cidades de Orolândia e Jacobina (Vidal *et al.*, 2009). Segundo ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais), no ano de 2012 o Brasil colocou-se como o 4º maior produtor e 7º exportador mundial de rochas ornamentais, em volume físico. Em 2013, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 1,3 bilhão correspondentes a 2,73 milhões toneladas comercializadas, registrando-se incremento de respectivamente 22,8% e 21,8% frente a 2012.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é verificar a viabilidade econômica para a construção de uma unidade de beneficiamento, utilizando os rejeitos de extração e beneficiamento do calcário pré-cambriano, mármore travertino, comercialmente denominado "Bege Bahia", da região da cidade de Orolândia e seu entorno, situada no interior do Estado da Bahia.

3. METODOLOGIA

As informações e valores serão apresentados de forma resumida devido as características do trabalho; estas foram coletadas de empresas existentes no mercado baiano e os dados concernentes à engenharia de mina e aspectos geológicos foram extraídos de relatórios disponíveis nos órgãos como IBGE, CETEM, CBPM, ABIROCHAS e publicações como artigos científicos, livros, teses, dissertações, entre outros, indicados nas referências bibliográficas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de cargas minerais na indústria polimérica tem como objetivo a redução de custos para o setor, pois elas preenchem vazios de plásticos e borrachas, tornando viável sua produção. Com o aprimoramento do uso dessas técnicas, pode-se observar que, mais do que o simples enchimento, as cargas possibilitariam mudanças importantes nas propriedades dos materiais poliméricos, como o controle de densidade, melhoria nos efeitos óticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza e a resistência ao rasgo (Lima, 2007).

Segundo estimativas do IBGE, em 2010 o município de Jacobina apresentou uma população total de 16.477 habitantes, com uma densidade demográfica de 11,04 habitantes/km². O município apresenta uma taxa média de crescimento da população de 0,71% (2000-2010), taxa de mortalidade infantil de 5,5 p/mil e esperança de vida ao nascer de 57,64 anos.

O município de Jacobina possui uma taxa de analfabetismo de 41,6%.

A Coelba é a distribuidora de energia no município, com 77,4% do atendimento.

O abastecimento de água é feito pela Embasa, sendo que 26,9% dos domicílios possuem água acesso a água encanada.

O empreendimento será beneficiado pela política de incentivos à agricultura e considerado neste estudo isento de recolher o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

O rejeito será depositado em local apropriado. Protegido de acordo com as normas ambientais

O processo de beneficiamento para a produção é simplificado, obedecendo as normas da ABNT.

Na Figura 1, é apresentado um fluxograma simplificado de operações de produção.

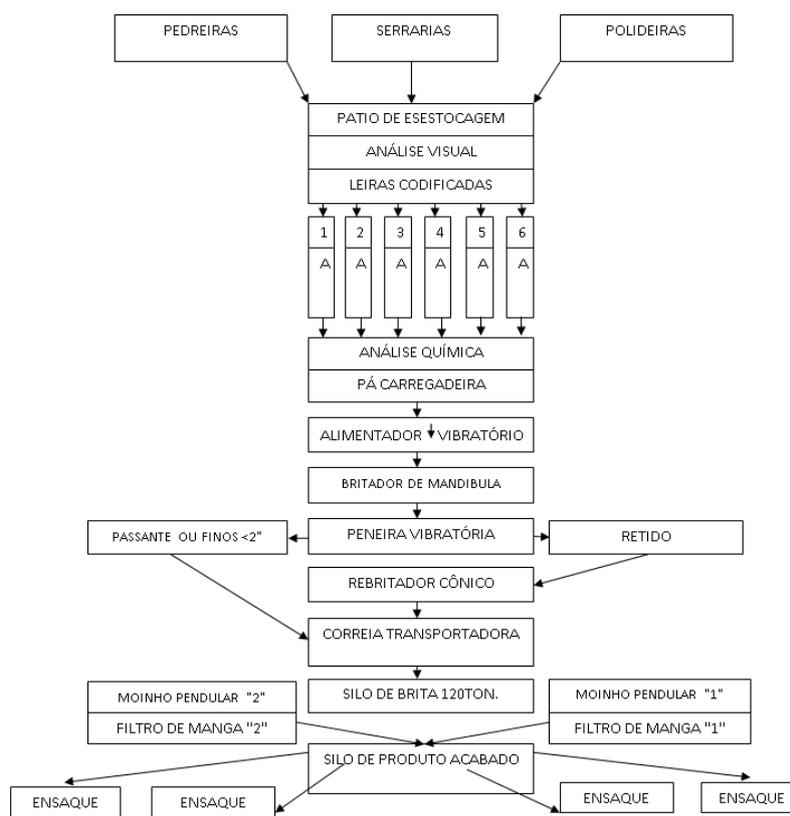


Figura 1: Fluxograma simplificado de operações de produção.

Para o estudo de caso, foram analisadas variáveis econômicas como a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL), *payback*, custo de produção, despesas operacionais indiretas e receitas operacionais, além do seguintes dados:

- * Capacidade de produção de 269.280 t/ano;
- * 15% de perda com possíveis quebras, acidentes ou outras anormalidades;
- * Jornada de trabalho de 10h/dia, 22 dias no mês;
- * Taxa mínima de atratividade (TMA) de 12% a.a.;
- * Horizonte de planejamento de 20 anos;

Na Tabela 1 são apresentados alguns parâmetros utilizados para a determinação dos custos de implantação e operação da usina.

Tabela 1: Parâmetros simplificados adotados.

Dados	Planta Fixa
Capacidade (t/h)	102
Capacidade (t/ano)	269.280
Investimento Inicial (R\$10³)	
Estudo e Implantação	50
Infra Estrutura (água, energia, vias...)	50
Obras Civas (galpões, oficinas, paióis...)	200
Móveis e Utensílios	50
Veículos, terrenos	500
Equipamentos:	
Pá Cavadeira Volvo, modelo L90	490
Alimentador Vibratório Metso, modelo 35080	166
Britador de Mandíbulas, modelo 60x90	400
Peneira Vibratória	106
Rebritador Girosférico (24S) ou mandíbulas	450
Cinta Transportadora 25m	126
Silo de Brita para Moinho Pendular Capacidade 120t	200
2 Moinhos Verdés, modelo MP275	3.338
2 Roscas Transportadoras do Ciclone para Elevador	32
Elevador de Canecas da Rosca para Silo Moinho de Bolas	68
Moinho de Bolas 6,00m x 1,80m	1.600
Divisor Dosador de Pó dos Classificados	120
Elevador de Canecas da Sobra do Divisor Dosador	68
4 Roscas Transportadoras dos Classificados	120
4 Classificadores Super JB	1.580
4 Roscas Transportadoras dos Filtros para Elevador	120
Elevador de Canecas para Silo de Acabado	68
Silo de Produto Acabado Capacidade 60t	90
4 Ensacadoras, Balança Eletrônica para Saco Valvulado	64
2 Ensacadoras, Balança Eletrônica para Big Bags	50
Espectrotômetro FRX	160
Total:	10.26
Custos Operacionais	
Fixos:	
Mão de obra	
Beneficiamento	37
Encargos – 100% salário	37
Total	74
Administrativo	23
Encargos – 80% salário	18,4
Total	41,4
Comercial	4
Encargos – 80% salário	3,2
Total	7,2
Total de mão de obra	122,6
Variáveis:	105
Energia (350.000kwh)	85,55
Manutenção	313,350

Após análise dos dados usando o programa Microsoft Excel 2010, considerando o empreendimento isento de impostos, percebe-se que a implantação de uma usina para o uso do bege bahia como carga em compostos poliméricos é algo viável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, visto que a matéria prima é o resultado de um processo produtivo que ainda não possui políticas para o descarte adequado do resíduo.

A depender de uma análise mais apurada de viabilidade econômica pode-se chegar preliminarmente aos seguintes dados: Receita bruta mensal: R\$476.850,00; Custos de produção mensal: R\$313.150,00; Lucro mensal: R\$163.700,00; Taxa Interna de Retorno (TIR) de: 15%; Valor Presente Líquido (VPL) de: R\$1.751.320,73; Payback: 6,3 anos.

O método do valor presente calcula o fluxo em cada ano, e, adotando uma taxa de descontos, traz os valores futuros para o valor presente. Se o valor presente for positivo, o projeto rende mais que o dispendido no empreendimento e então é atrativo àquela taxa de desconto (CHAVES, 2012). O método da taxa interna de retorno, adota uma taxa de desconto, mas calcula a taxa de juros que torna o valor presente igual a zero. Quanto maior a taxa de retorno, maior o interesse do empreendimento (CHAVES, 2012).

5. CONCLUSÕES

Á luz dos números apresentados o projeto torna-se viável, no entanto, novos e detalhados estudos deverão ser considerados para confirmação.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa, ao CETEM por oferecer suas instalações recursos para o desenvolvimento da pesquisa, ao meu orientador, D.Sc. Gilson Ezequiel Ferreira por toda a ajuda e apoio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RIBEIRO, A. F. e MAGALHÃES, A. C. F. Caracterização Geológica-Econômico do Mármore Bege Bahia. IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza – CE, 2003. p. 63-67.

VIDAL, F. W. H., RIBEIRO, L. D., ALVES, E., BARRETO, E., PINHO, R., Apoio técnico ao arranjo produtivo do mármore bege-Bahia. Relatório de Andamento de Realizações, Salvador – BA, 2009.

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 12 de mar. 2014.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

CHAVES, A. P. Projeto de Instalações de Britagem. In: LUZ, A. B; ALMEIDA, S. L. M. Manual de Agregados Para a Construção Civil. 2ª edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2012. 8, p147-164.

ACÇÃO DE REMOVEDOR DE PICHACÃO NA SUPERFÍCIE DE ROCHAS ORNAMENTAIS DE BENS TOMBADOS PELO PATRIMÔNIO

Gabriela Fernandes Lacerda

Aluna de Graduação de Engenharia Química, UFRJ.
ESTAGIÁRIA/CETEM: Agosto de 2013 a agosto de 2014,
glacerda@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

1.INTRODUÇÃO

O patrimônio cultural pétreo é o conjunto de bens de natureza material que guardam em si referências à identidade, a ação e a memória de diferentes grupos sociais. Cada indivíduo é parte de um todo – da sociedade e do ambiente onde vive – e constrói, com os demais, a história dessa sociedade, legando às gerações futuras, por meio dos bens criados e das intervenções no ambiente, registros capazes de propiciar a compreensão da história humana pelas gerações futuras. A destruição dos bens herdados das gerações passadas acarreta o rompimento da corrente do conhecimento (BRAGA, 2003).

Atualmente, a importância da preservação de bens pétreos ganha novo foco, pois além dos prejuízos causados pela ação da natureza, nosso patrimônio vem sofrendo com ações antrópicas, principalmente, pichações causadas por ações de vândalos (Figura 1).



Figura 1: Assembleia dos deputados do Estado do RJ após manifestações.

A pichação é, por definição, feita em locais proibidos e à noite, em operações rápidas, sendo tratada como ataque ao patrimônio público ou privado, onde ocorre impregnação da tinta na superfície e em camadas profundas das rochas que compõem os monumentos. As pichações continuam sendo realizadas, gerando a necessidade de uma medida preventiva para proteger o patrimônio histórico e cultural, além de métodos eficazes de extração da pichação sem danificar a superfície das rochas, uma vez que existem hoje no mercado diversos tipos de removedores e produtos antipichação e o Instituto do Patrimônio Artístico e Histórico Nacional necessita de parâmetros tecnológicos para nortear os restauradores nas melhores técnicas de remoção de pichações (BRAGA, 2003; SILVA, 2007).

2.OBJETIVO

Verificar o comportamento da superfície de rochas ornamentais que compõe os principais monumentos históricos pétreos após a aplicação de um removedor de pichação presente no mercado.

3.METODOLOGIA

3.1 Origens dos materiais

Foram utilizados 4 tipos diferentes de rochas ornamentais, comercialmente chamadas de *fioreto*, *granito preto*, *bege Ipanema* e *mármore branco*,(Figura 2). Para a pichação, utilizou-se uma tinta acrílica em spray na cor vermelha e pastilhas de 5 cm de diâmetro e 1 cm de espessura de cada rocha foram pichadas por completo. Para a retirada da pichação das rochas, utilizou-se um removedor A e uma escova de cerdas flexíveis.

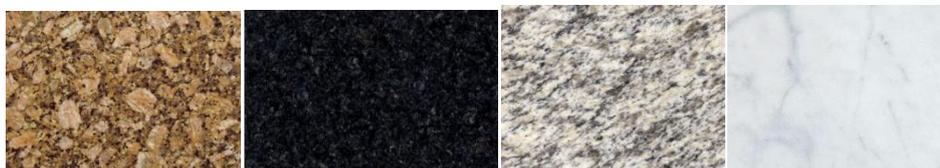


Figura 2: Aspecto das rochas *fioreto*, *granito preto*, *bege Ipanema* e *mármore branco*.

3.2 Caracterização das amostras

3.2.1 Índices físicos

Este ensaio possibilita a determinação da porosidade e absorção de água das rochas e foi realizado com base na norma ABNT- NBR 12766. O ensaio foi realizado com as amostras de rocha ao natural, com as mesmas amostras pichadas e após o produto de remoção da tinta ser utilizado.

3.2.2 Medição de brilho e cor

Utilizou-se o aparelho *spectro-guide 45/0 gloss* para realizar as medições de brilho e cor das amostras. Foram realizadas medições nas amostras puras, após a aplicação dos removedores e com os protetivos. O aparelho fornece os valores de **a**, **b** e **L**, que coordenadas colorimétricas como apresentado na Figura 3.

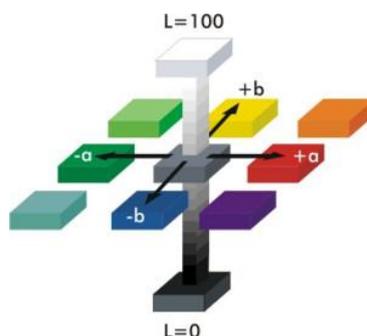


Figura 3: determinação espacial das cores, nos eixos **a**, **b** e **L**.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Índices físicos

A Figura 4 apresenta os resultados de absorção de água das amostras de rochas ao natural, após serem pichadas e após o produto de remoção ser aplicado. Pode-se verificar que a aplicação da tinta faz com que a absorção de água da rocha seja nula. Após a aplicação do removedor, verifica-se que a absorção aumenta substancialmente, ultrapassando o valor de absorção da rocha ao natural, possivelmente devido a ação do agente de remoção que agride a superfície da rocha, criando novos caminhos para a entrada de água e aumento de absorção. No que tange a porosidade, na Figura 5 verifica-se que a mesma, nas rochas pichadas é nula e que após a ação do removedor as rochas graníticas tendem a diminuir, devido à impregnação de tintas nas camadas mais profundas dessas rochas. No entanto, o mármore apresenta um comportamento diferenciado, indicando um aumento da porosidade, possivelmente relacionado com a maior agressão do produto em sua superfície, fazendo com que a porosidade e a absorção de água aumentem, devido à perda de massa da rocha, já que se trata de uma rocha mais sensível à ação de agentes externos. Possivelmente, a ação química do produto, a ação do atrito durante a limpeza e o efeito de penetração da tinta, são responsáveis pelas alterações dos índices físicos.

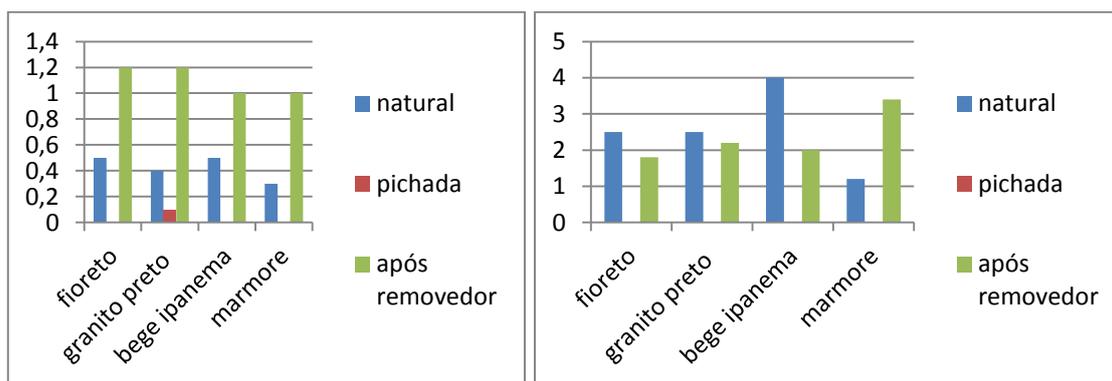


Figura 4: Absorção de água (%) das rochas. **Figura 5:** Porosidade (%) das rochas.

O conjunto de fotos ilustrado na Figura 6 ilustra a superfície das rochas, em microscópio ótico, após serem limpas com o removedor, onde se verificam danos estruturais, corroborando com os resultados que indicaram o aumento de absorção de água, devido a perda de material mineral. Além disso, observam-se impregnações de tinta nas camadas mais profundas das rochas, corroborando a diminuição da porosidade da maior parte das rochas.



Figura 6: Aspecto superficial das rochas após a remoção da tinta

4.2. Brilho e cor

A Tabela 1 apresenta o resultado da variação de cor e brilho das amostras antes e após a aplicação do removedor. Pode-se verificar uma queda nos valores de brilho (**G**) em todas as amostras e que as condições cromáticas também são alteradas. Os valores de **L** aumentam para todas as amostras, indicando que após a passagem do removedor as rochas ficaram mais claras. Em relação ao eixo **a**, verifica-se que as amostras fioreto e mármore apresentam significantes variações, tornando-se mais avermelhadas, talvez pela alteração química e mineral dessas rochas com a aplicação do removedor ou pela maior impregnação da tinta vermelha. Já as demais rochas apresentaram pequena alteração para o vermelho. Em relação ao eixo **b**, observou-se apenas uma variação mais efetiva nas amostras fioreto e mármore, que se tornaram mais amareladas. Tais resultados indicam que mesmo retirando a tinta da pichação, o produto altera as características de brilho e cor das amostras.

Tabela 1: Distribuição de cor e brilho das amostras

Rochas	L	L	a	a	b	b	G	G
	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
<i>Fioreto</i>	75	80	3,4	5,9	3,1	7,9	1,1	0,4
<i>Granito Preto</i>	44	45	-2,0	-1,8	-0,9	-0,2	1,3	0,7
<i>Bege Ipanema</i>	80	84	3,1	3,0	-0,2	2,3	1,3	0,3
<i>Mármore</i>	83	88	-0,6	2,3	-0,4	3,1	1,2	0,3

Onde: L: eixo claro/escuro, a: eixo verde/vermelho, b: eixo azul/amarelo e G: brilho.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o método de extração de pichações de rochas ornamentais utilizando removedores químicos afetam a superfície das rochas, tornando-as mais suscetíveis para absorção de água, a porosidade é alterada e as condições de brilho e cor se alteram significativamente. Dessa forma, recomenda-se o estudo de novos removedores ou novos processos de limpeza como hidrojateamentos.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM e a CATE, pela infraestrutura, aos técnicos Carlos Alberto e Michelle e apoio financeiro do sistema de estágio do CETEM.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, M., **Conservação e restauro: pedra, pintura e pintura em tela**, Rio de Janeiro: Ed Rio, 2003.

SILVA, M. E. Avaliação da susceptibilidade de rochas ornamentais e de revestimentos à deterioração: um enfoque a partir do estudo em monumentos do barroco mineiro. 2007. 132 f. **Tese Doutorado** - Curso de Geociências, Departamento de Geologia Econômica e Aplicada, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

ECOABRASIVO CONFECCIONADO COM RESINA VEGETAL E CARBETO DE SILÍCIO: UMA INOVAÇÃO PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Vagner Môro Ferreira Leitão

Aluno de Graduação em Eng. de Minas 10º p., IFES
Período PIBIC/CETEM: Agosto de 2013 a julho de 2014,

vleitao@cetem.gov.br

Leonardo Luiz Lyrio Da Silveira

Orientador, Geólogo, D. Sc.

leolysil@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor de rochas ornamentais utiliza para realização do polimento de chapas rebolos abrasivos de resinas epóxicas tendo como elemento abrasivo o diamante, ou à base de cimento sorel sendo o abrasivo composto por Carbeto de Silício (SiC). Analisando os rebolos abrasivos destacados, o epóxi pode causar problemas ambientais e males relacionados à saúde humana, principalmente por conter Bisfenol A e Epicloridrina, substâncias estas com alto poder carcinogênico, já os de cimento sorel apresentam um baixo rendimento. Diante das constatações anteriores, este trabalho mostra os bons resultados preliminares obtidos nos ensaios realizados, em escala real, com um novo produto para polir rochas ornamentais, composto por uma resina vegetal atóxica e SiC. Este rebolo, com patente já depositada pelo Cetem sob a número no INPI 102012032157-2 é uma contribuição deste instituto para conduzir o setor de rochas ornamentais no sentido da ecoeficiência.

2. OBJETIVO

Analisar o desempenho de rebolos abrasivos empregados no polimento de rochas ornamentais confeccionados com matriz de resina vegetal e utilizando como elemento abrasivo o Carbeto de Silício, produto este ainda não existente no mercado.

3. METODOLOGIA

O polimento ocorre pelo atrito dos rebolos abrasivos sobre a superfície da rocha com pressão e rotação do satélite da politriz (dispositivo onde são fixados os rebolos abrasivos). Tais conceitos referentes ao polimento são mais detalhados em Turchetta (2003), Aigueira e Filgueira (2006), Silveira (2007), Neves (2010).

Este trabalho é a continuação da pesquisa de caracterização da resina vegetal com a finalidade de aplicação na cadeia produtiva de rochas ornamentais. Em Leitão e Silveira (2012), Silveira e Leitão (2012) e Leitão e Silveira (2013) é possível encontrar informações acerca dos primeiros ensaios em laboratório e escala real com este produto.

Realizando uma análise dos custos de confecção do rebolo abrasivo resinóide e percebível que a liga corresponde a aproximadamente 20% do custo, o elemento abrasivo a 70% (no caso do diamante) e 10% está relacionado a outros elementos, já o rebolo abrasivo de cimento sorel tem um custo muito inferior quando comparado com o resinóide porem apresenta um desgaste elevado. Diante dessa constatação buscou-se desenvolver um rebolo abrasivo ecológico com alto desempenho sendo próximo do Epóxi, cujo elemento abrasivo fosse o SiC (utilizado no rebolo de cimento sorel), visando desenvolver um produto com alto rendimento e baixo custo.

Na confecção dos rebolos abrasivos foi utilizada uma resina poliuretana de origem vegetal proveniente da síntese do óleo de mamona, de dois componentes que, combinadas em diferentes proporções geram produtos com propriedades físico-mecânicas distintas. O procedimento de confecção dos rebolos abrasivos de resina vegetal iniciou-se com a mistura do polioli (50% em massa) e pré-polímero (50% em massa). O composto formado foi submetido a um sistema de vácuo por 2,5 minutos para remoção do CO₂ que é gerado na reação química entre estes dois

componentes. Posteriormente, adicionou-se 20% em massa de carga (carbeto de silício na granulometria 1200 *mesh*) em relação à massa do poliol + pré-polímero e 20% em massa do elemento abrasivo (carbeto de silício na granulometria 120 *mesh*) em relação à massa do poliol + pré-polímero + carga. Após homogeneização, as misturas foram dispostas em formas. O início do processo de cura ocorreu em 8 minutos contados a partir do início da homogeneização dos compósitos. Após 24 horas os rebolos abrasivos estavam prontos para uso (Figura 1).



Figura 1: Rebolos abrasivos confeccionados com resina vegetal e SiC.

Com o intuito de avaliar a eficiência do rebolo abrasivo de resina vegetal realizaram-se ensaios também em rebolos com liga epoxídica e com cimento sorel, amplamente utilizados pelo setor de rochas ornamentais. O ensaio foi realizado em politriz semiautomática de um satélite (Figura 2) com capacidade para 6 abrasivos, sendo aplicada uma pressão de 2 bar. A máquina foi programada para realizar três tipos de movimentos sobre a chapa de rocha com repetição de um dos movimentos, sendo inicialmente ziguezague, em seguida transversal, posteriormente longitudinal e finalizando com ziguezague. A velocidade de rotação do satélite foi de 500 rpm e o tempo de duração para cada ensaio foi de 14 minutos e 20 segundos.

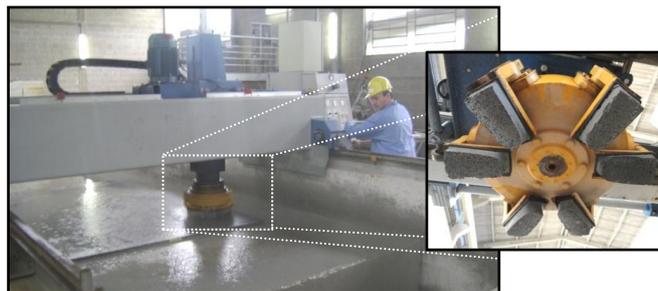


Figura 2: Ensaio de polimento. Em detalhe o satélite com os rebolos abrasivos acoplados.

O polimento foi realizado em uma mesma chapa de rocha ornamental (Figura 3) delimitada em três partes iguais, cada uma contendo uma área de 1,90 m², sendo utilizados no lado esquerdo os rebolos de resina epoxídica, no centro o de resina vegetal e no lado direito os de cimento sorel, todos nas granulometrias #24, #36, #60, #120 (*mesh*). A rocha ornamental utilizada no ensaio foi um migmatito gnaissificado de coloração geral preta comercialmente conhecida como Preto Indiano, contendo intercalação descontínua a lenticular de quartzo-feldspático e biotita, imprimindo aspecto movimentado à rocha.

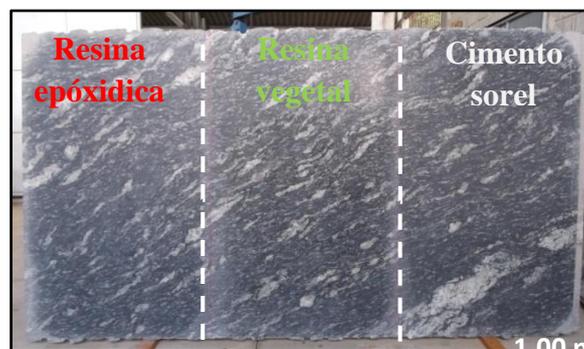


Figura 3: Chapa de rocha utilizada no ensaio de polimento.

Para verificar o rendimento dos rebolos abrasivos foi realizada a medição da perda de massa e de espessura dos rebolos. Para obtenção da perda de massa os rebolos abrasivos foram pesados antes e depois da realização do ensaio, sendo secados em estufa à 45°C durante 8 horas. A perda de espessura foi obtida por medição em relógio comparador com precisão de 0,01 mm. Os valores apresentados tanto para perda de massa como perda em espessura são expressos pelo somatório das perdas dos seis rebolos abrasivos.

Para análise da qualidade do polimento realizado na superfície da chapa de rocha foram verificados o brilho e a rugosidade. Na medição do brilho foi utilizado o *micro-TRI-gloss* da marca Gardner, sendo realizada a determinação de 180 pontos em cada porção da chapa obtendo-se os valores médios dos brilhos e seus respectivos desvios padrões. Tais medições foram obtidas em dois momentos distintos para verificar uma possível perda de brilho com o passar do tempo, sendo realizadas nos dias 27/11/2013 e 23/05/2014. Para a coleta dos dados de rugosidade, obtidos com o rugosímetro ITRPSD-200 da marca Instrutemp, foram realizadas 50 medições em cada uma das três porções da chapa, obtendo 9 parâmetros que resultaram em 450 dados de rugosidade, abordando principalmente a Rugosidade Média (Ra) e Rugosidade Total (Rt). Os equipamentos utilizados para medição do brilho e rugosidade estão destacados na Figura 4.

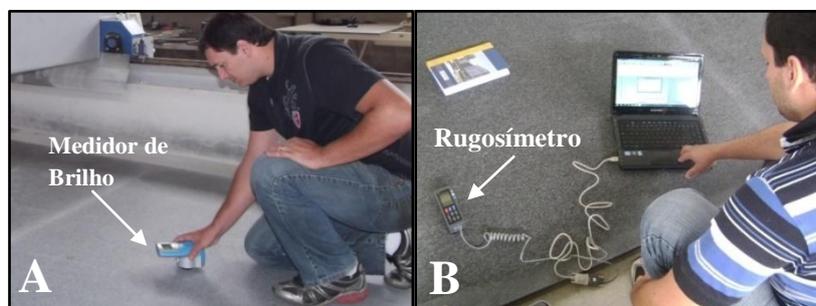


Figura 4: Equipamentos utilizados para medição do brilho (A) e rugosidade (B).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos referentes a perda de massa e espessura estão destacados na Figura 5, onde é possível perceber que o rebolo confeccionado com resina vegetal obteve uma perda de massa (A) 48 vezes menor e uma perda de espessura (B) 8,6 vezes menor que o de cimento sorel. Em relação do rebolo de liga epóxídica, o de resina vegetal apresentou um desgaste 2,5 vezes maior. Essa pequena margem já era esperada devido a diminuição da dureza da liga de resina vegetal diante o tipo de elemento abrasivo empregado (SiC).

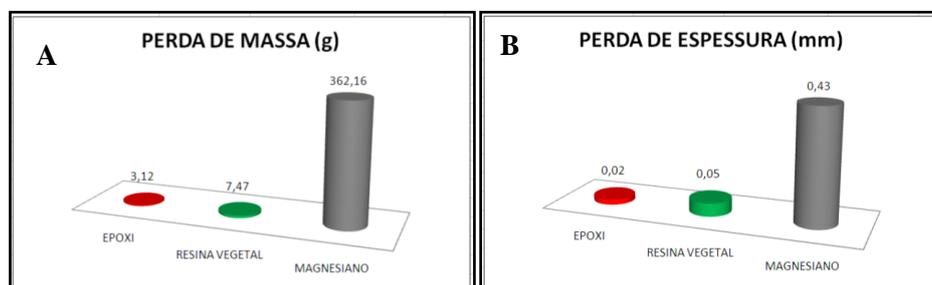


Figura 5. Perda de massa (A) e perda de espessura (B) dos rebolos abrasivos.

Analisando os parâmetros de rugosidade (Figura 6A) obtidos, o rebolo de resina vegetal apresentou a maior rugosidade, sendo 1,68 vezes maior que o de cimento sorel e 2,09 vezes maior que o epóxídico. Essa diferença, principalmente comparada com o de cimento sorel pode ser ajustada com alteração na formulação da liga de resina vegetal, o que será tratado em trabalhos futuros. Abordando os resultados referentes ao brilho (Figura 6B) a porção da chapa polida com o rebolo de resina vegetal apresentou os melhores resultados sendo 1,53 e 1,11

vezes maiores do que o de cimento sorel e de liga epóxidica, respectivamente. Além dos bons valores de brilho obtidos na superfície de rocha submetida ao polimento com o rebolo abrasivo vegetal, a outra medição realizada mostra que a perda foi mínima, o que indica um futuro promissor para o desenvolvimento deste produto ecológico.

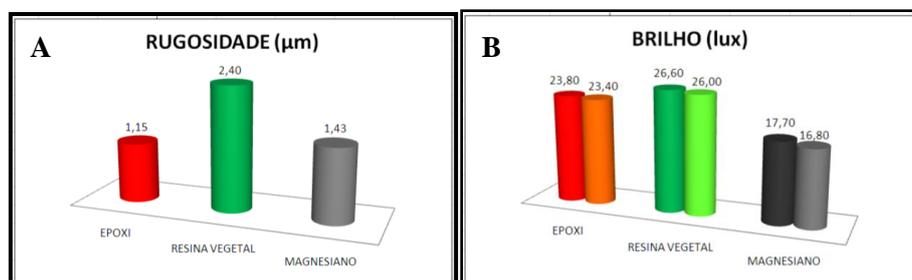


Figura 5. Rugosidade (A) e Brilho (B) na superfície da chapa de rocha.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados é confirmada a potencialidade de aplicação desta resina vegetal na confecção de rebolos abrasivos com carbetto de silício, perante o bom desempenho do rebolo, ressaltando a consideração de ter sofrido desgaste aquém do esperado tanto no parâmetro de perda de massa quanto o de perda de espessura e apresentar uma qualidade final satisfatória da superfície polida principalmente no que diz respeito ao brilho. Um ponto marcante neste novo produto é o de pode ser comercializado com um custo 70% menor que o resinóide e possuir um rendimento significativo, além de se tratar de um produto de toxicidade zero. Como trabalho futuro sugere-se a confecção de novos rebolos abrasivos com durezas diferentes.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CETEM, ao IFES *Campus* Cachoeiro de Itapemirim que disponibilizou a estrutura e equipamentos para realização dos ensaios e ao CNPq pela bolsa concedida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIGUERA, Rafaela B.; FILGUEIRA, Marcello. **Mecanismo e Resistência à Abrasão de Compósitos à Base de Poliéster-SiC para Uso em Coroas de Polimento de Rochas Ornamentais** - Laboratório de Materiais Avançados, UENF. vol. 16, nº 3, P187-192, 2006.
- LEITÃO, Vagner Moro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. **Desempenho da Aplicação de Resina Vegetal na Confecção de Rebolo Abrasivo Utilizando Diamante Sintético Como Elemento Abrasivo**. V Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais - CBRO, Campina Grande-PB, 2012.
- LEITÃO, Vagner Moro Ferreira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. **Ecoabrasivo: uma nova perspectiva para o setor de rochas ornamentais**. XXI Jornada de Iniciação Científica, CETEM-Rio de Janeiro - RJ, 2013.
- NEVES, Marcia de Carvalho. **Estudo Experimental do Polimento de Diferentes “Granitos” e as Relações com a Mineralogia**. 2010. 115p. Dissertação de Mestrado - EESC-USP Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil).
- SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da. **Polimento de Rochas Ornamentais: Um Enfoque Tribológico ao Processo**. 2007. 203p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Brasil).
- SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da; MORO Vagner Ferreira Leitão. **Analysis of the Behavior of Abrasive Tool Performed With Alternative Resin Tested in the Polishing Rock Simulator (PRS)**. *Global Stone Congress*, em Borba, Portugal, 2012.
- TURCHETTA, Sandro. **Tecnologie di Lavorazione Delle Pietre Naturali**. 2003. 261p. Tese (Doutorado) – *Universita Degli Studi di Cassino, Italy* (Europa).

ESTUDO DO BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Douglas Bortolote Marcon

Aluno de Graduação de Eng. Minas, 10º período, IFES

Período PIBIC/CETEM: julho de 2013 a julho de 2014

dmarcon@cetem.gov.br

Francisco Wilson de Hollanda Vidal

Orientador, Engenheiro Minas, D.Sc.

fhollanda@cetem.gov.br

Nuria Fernandez Castro

Co-orientadora, Engenheira de Minas, M.Sc.

ncastro@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

De acordo com ABIROCHAS (2012), no Brasil, são beneficiados mais de 70 milhões de m²/ano de chapas de rochas ornamentais. Nestes processos geram-se, aproximadamente, 500 kg/m³ de resíduos finos na serragem dos blocos e em torno de 100 kg/m³ no polimento, constituídos principalmente por: água, pó de rocha, granalha, resíduos de lâmina de aço e cal, que atualmente não são aproveitados pela indústria (CAMPOS *et al.*, 2014). Prevendo a possibilidade de valorização da cadeia produtiva e a contribuição com o desenvolvimento sustentável das pequenas e médias empresas do setor de rochas ornamentais, esta pesquisa pretende encontrar uma rota de processamento do resíduo gerado, utilizando técnicas de tratamento de minérios, que permita a obtenção de subprodutos. O aproveitamento deste material pode resultar tanto em ganhos de natureza ambiental, promovendo uma correta destinação, quanto econômicos.

2. OBJETIVO

Separar o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais em subprodutos, tais como: argilas, materiais metálicos e outros produtos como a sílica.

3. METODOLOGIA

Realizou-se uma ampla revisão bibliográfica sobre a geração e aproveitamento do resíduo e sobre as técnicas de tratamento de minério a serem utilizadas para o trabalho.

O material utilizado no estudo é oriundo da AAMOL – Associação Ambiental Monte Líbano. Após coletado, o resíduo foi amostrado e encaminhado para caracterização, que consistiu em: análise granulométrica, determinação da densidade (ρ), mediante picnometria convencional e picnometria de gás hélio, análises química e mineralógica por Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX), respectivamente. A análise granulométrica foi realizada por peneiramento a úmido em uma amostra de massa 1.068,35 g, com peneiras de abertura em milímetros (mm): 0,841; 0,420; 0,297; 0,210; 0,149; 0,105; 0,074; 0,053; 0,044 e 0,037.

A seguir, com a finalidade de separar os materiais mais finos, foi empregado um hidrociclone, equipamento que classifica o material em duas frações, uma contendo relativamente maior número de partículas finas (*overflow*), e outra com maior população de partículas grosseira (*underflow*). Outros equipamentos empregados nessa fase foram: um tanque de agitação provido de uma bomba centrífuga, uma peneira de abertura 1,68 mm, um sistema de silo cônico com um agitador, uma bomba centrífuga e um *by pass*, este último utilizado para aliviar a pressão da bomba e controlar a vazão de alimentação do hidrociclone.

Para realização da ciclonagem, fizeram-se quatro testes variando a porcentagem de sólidos e a pressão do bombeamento para a alimentação, selecionando a melhor situação operacional. Feita a seleção, o resíduo foi colocado no tanque, onde se acrescentou água e a agitação do tanque provocou a homogeneização da polpa com a porcentagem de sólido requerida. A polpa foi então bombeada, com auxílio de uma bomba centrífuga e peneirada por uma peneira de abertura 1,68

mm (para evitar entupimentos do hidrociclone) até o silo cônico. Neste, o material permaneceu em constante agitação, criada pelo agitador e auxiliada pela turbulência ocasionada pelo *by pass* no bombeamento da polpa para a alimentação do hidrociclone.

Na verificação do percentual de sólido, utilizou-se de uma Balança de Marcy. Para o controle da pressão, ajustaram-se as aberturas da alimentação do hidrociclone e do *by pass*, até obter a pressão requerida, sendo esta visualizada com a leitura de um manômetro. Estas atividades desenvolveram-se nas dependências do IFES campus Cachoeiro de Itapemirim.

Realizada a separação dos finos do material, parte do *overflow* foi coletado e depositado em uma caixa de um metro cúbico. O *underflow* foi colocado em dez tambores, sendo cinco utilizados para o ensaio de beneficiamento e os outros mantidos como réplica.

O *underflow* foi submetido a concentração por espirais, com base, principalmente, na necessidade de recuperar a parte metálica do resíduo (granalha e fragmentos de lâminas) e levando em consideração que, segundo Chaves e Chaves Filho (2013), a espiral é o equipamento de concentração de menor custo de capital e manutenção, construído com material leve e durável, demanda de pequenos espaços para sua instalação e substitui com sucesso as mesas vibratórias.

Os ensaios nas espirais concentradoras foram realizados na usina piloto do CETEM, no Rio de Janeiro. Utilizou-se da espiral: MD- *Spiral Concentrator*, modelo HG11, com 14 voltas e dupla alimentação; um tanque de preparação de polpa com capacidade de 0,3 m³; uma bomba centrífuga munida de um sistema de *by pass*, para alimentação da espiral; e um silo cônico, com uma bomba centrífuga, na parte inferior da espiral, para manter o circuito fechado até o processo entrar em regime contínuo. Então, foram definidas as aberturas dos primeiros coletores que são os que direcionam o fluxo de pesados para orifícios na borda interna das seções da espiral. Da mesma forma ajustaram-se os coletores na parte inferior das espirais para permitir uma melhor separação do material pesado residual. No total foram gerados quatro produtos: O **Concentrado 1** — material pesado recolhido nos primeiros coletores; **Concentrado 2** — pesados coletados no final da espiral; **Misto** — material intermediário entre o Concentrado 2 e o Leve; **Leve** — material rico em minerais leves.

Foram realizadas cinco amostragens dos produtos e da alimentação, ao longo do processo. As amostras obtidas foram misturadas e homogeneizadas pelo método de pilha cônica, formando uma amostra representativa de cada produto. Para verificar a eficiência da concentração do resíduo executaram-se ensaios em meio denso ($\rho = 2,96 \text{ g/cm}^3$), sendo possível verificar o percentual de minerais pesados ($\rho > 2,96$) presentes na amostra inicial e nos produtos gerados pós-tratamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica do resíduo. Observa-se que a maior proporção do material, cerca de 74%, apresenta tamanho inferior a 0,037 mm.

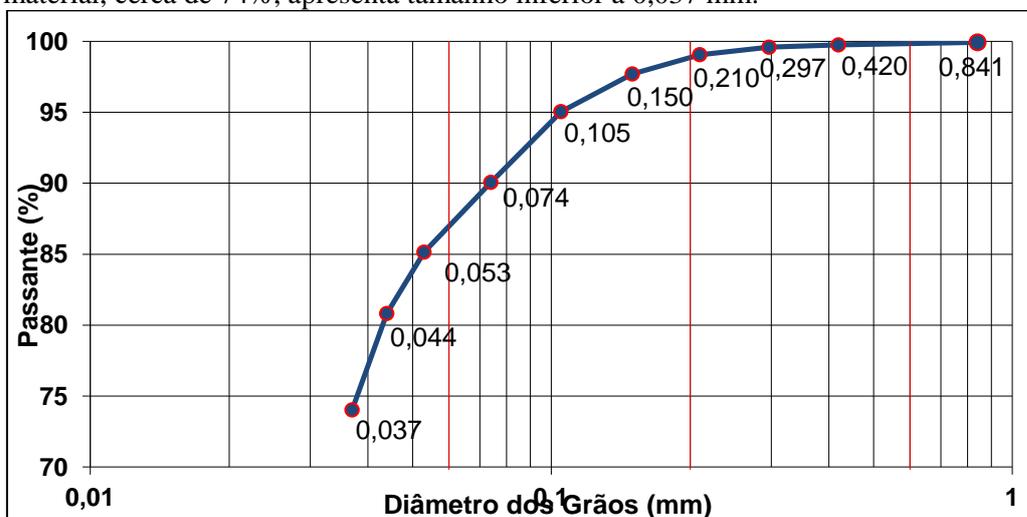


Figura 1: Curva granulométrica do resíduo. Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 1 exibe a composição química do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. Nota-se uma grande concentração de óxido de alumínio, possivelmente proveniente das argilas presentes no resíduo. O ferro, provavelmente, é oriundo da granalha e fragmentos de lâminas.

Tabela 1: Análise química do resíduo.

Elementos	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	PPC*
% Massa	3,6	1,7	16,0	63,3	0,35	4,0	3,8	0,57	5,0	1,25

Fonte: Elaboração do autor. *PPC. Perda por calcinação

Nas análises mineralógicas por DRX, foi possível determinar que o resíduo é composto por minerais como: Quartzo, Microclina, Muscovita, Albita, Hornblenda, Augita e Anortita.

Na separação dos finos do resíduo, o melhor resultado obtido foi com uma polpa com 30% de sólidos ($\rho = 2,71 \text{ g/cm}^3$) e pressão de alimentação de 10 PSI. Houve a necessidade de ser criterioso com estas duas variáveis, pois influenciam diretamente na taxa de alimentação do hidrociclone. A vazão de sólidos foi calculada mediante amostragem em tempos determinados. Alcançou-se uma vazão de 874.80 kg/h, e foram processados um total de 4.413,85 kg de resíduo. Ao final do processo obtiveram-se 1.910,45 kg no *underflow* e 2.503,40 kg no *overflow*.

Como demonstrando na análise granulométrica, o resíduo inicialmente apresentava 25,98% de partículas de tamanho superior a 0,037mm. Após separação dos finos, com a ciclonagem, este percentual passou para 59,75%, no *underflow*. No *overflow*, este percentual foi igual a 3,18%.

As faixas granulométricas usuais para concentração em espirais são de 2 a 0,074 mm. No entanto Arenare *et al.*(2000) *apud* Chaves e Chaves Filho (2013), propõem que esse limite se estenda até 0,037 mm para minério de ferro. Devido às características do resíduo e com o objetivo de separar a parte metálica, neste estudo trabalhou-se na faixa de 0,037 mm a 0,841 mm.

Nos ensaios de espirais concentradoras são comuns faixas de percentagem de sólido entre 20 e 30%. Por essa ótica os testes foram realizados com 25% de sólidos ($\rho = 2,84 \text{ g/cm}^3$ após classificação). Na Tabela 2 pode-se verificar o balanço de massa do beneficiamento realizado.

Tabela 2: Balanço de massa do ensaio de concentração em espiral concentradora.

	VAZÃO DE SÓLIDO (kg/h)					Média	Des. Padrão
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5		
Alimentação	1.246,52	1.298,35	1.182,81	1.272,58	1.211,11	1.242,27	46,34
Concentrado 1	78,99	84,51	79,48	104,65	100,98	89,72	12,22
Concentrado 2	40,45	42,49	41,65	47,33	49,95	44,37	4,07
Misto	126,40	144,59	137,52	134,53	129,34	134,48	7,13
Leve	1.000,68	1.026,76	924,16	986,07	930,84	973,70	44,69

Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com os ensaios em meio denso.

Tabela 3: Ensaios em meio denso realizados no resíduo e produto da concentração.

	LÍQUIDO DENSO ($\rho = 2.96 \text{ g/cm}^3$)			
	Afundado	Flutuado	- 0.037mm	Total
Resíduo original	5,79%	23,79%	70,42%	100 %
Underflow/alimentação espiral	16,05%	48,32%	35,63%	100%
Concentrado 1	69,90%	19,89%	10,22%	100%
Concentrado 2	41,06%	43,17%	15,78%	100%
Misto	12,33%	72,19%	15,48%	100 %
Leve	3,45%	52,63%	43,92%	100%

Fonte: Elaboração do autor.

Verificam-se resultados satisfatórios de concentração das espirais, tendo em vista que o **Concentrado 1**, apresentou um percentual de pesados de aproximadamente 70%. Nota-se também que o **Leve** teve sua concentração de pesados reduzida em relação ao resíduo original, chegando-se a valores de 3,45%.

O presente estudo ainda não foi finalizado, serão realizados testes de análise química em todas as etapas de tratamento do resíduo, a fim de quantificação das alterações dos teores minerais ao longo do processo de concentração. Pretende-se utilizar métodos de separação magnética de tratamento para individualização da parte metálica dos **Concentrados 1 e 2** e estudar formas de aplicações dos produtos gerados.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a rota de beneficiamento com a classificação do resíduo utilizando o hidrociclone e a concentração em espiral se mostrou satisfatória.

A classificação proporcionou um enriquecimento de 2,3 vezes a quantidade de partículas de tamanho superior a 0,037 mm, devido à diminuição da argila presente no resíduo e adequou o mesmo para as operações posteriores de tratamento, além de promover uma pré-concentração dos elementos pesados, ainda na etapa de classificação. Isto mostra que a maioria dos elementos pesados, que são formados principalmente pela parte metálica do resíduo, encontram-se nas faixas granulométricas mais grosseiras.

Quanto a concentração em espirais, obteve-se o enriquecimento de pesados de 4,36 e 2,56 vezes em relação à alimentação (*underflow* do ciclone) do Concentrado 1 e do Concentrado 2, respectivamente. Calculando o enriquecimento destes dois produtos com relação ao resíduo original chegamos aos valores de 12,07 e 7,09 vezes.

Em relação ao Misto e Leve, nota-se que são produtos ricos em minerais leves. Todavia, o Misto necessita de passar por uma operação de *scavenger*, para recuperar seu percentual de pesados.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço à AAMOL por ter cedido o resíduo, ao apoio da CATE e COPM nos ensaios, em especial a Carlos Alberto Santos e Michelle Santos e Leonardo Cattabriga. Também agradeço a todos do NR-ES, especialmente a Nuria Castro, Davi de Souza, Dghean Fazolo, Thalissa Altoé, Elton Santos, Pedro Vale e Flávio da Silva, pelo apoio e dedicação ao trabalho. Aos técnicos do laboratório de mineração do IFES, ao Eng. de Produção Geverson Barbosa por sua ajuda e transferência de seu conhecimento e ao CNPq pela bolsa concedida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Situação Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais. São Paulo, 2012.

CAMPOS, A. R. de et al. RESÍDUOS: TRATAMENTO E APLICAÇÕES INDUSTRIAIS. In: VIDAL, Francisco W. H.; CARVALHO, Hélio A. A.; CASTRO, Nuria F. (Ed.). **TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: Pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014.

CHAVES, A. P.; CHAVES FILHO, R. C.. **Separação densitária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 6 v. (Teorias e práticas do tratamento de minérios).

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL PROVENIENTE DE TEAR MULTIFIO EM MASSA CERÂMICA

Pedro Porto Pizetta

Aluno de Graduação em Engenharia de Minas do 8º período, IFES
Período PIBIC/CETEM: Setembro de 2013 a julho de 2014,
pedrop_p@hotmail.com

Mônica Castoldi Borlini Gadioli

Orientadora, Eng. Química, D.Sc.
mborlini@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais está crescendo cada vez mais no Brasil e principalmente no Espírito Santo, estado onde se concentra a maior parte da produção, correspondendo a 80% da exportação brasileira e com um crescimento médio de 10% ao ano em produção e movimentação de mercadorias (ABIROCHAS, 2014). Paralelo a esse aumento significativo está à geração de mais resíduos e do que fazer com esse material que em quase sua totalidade é depositado em aterros. Baseado na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que busca identificar os impactos ambientais durante o ciclo de vida de um produto e a sugerir melhorias ambientais, uma alternativa para esses resíduos é a sua incorporação na fabricação de cerâmica, levando em consideração também às características residuais finais do produto cerâmico.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi incorporar à massa cerâmica, resíduos da serragem de rochas ornamentais proveniente de tear multifio visando comparar com a cerâmica sem resíduo as propriedades tecnológicas e analisar, após todos os ensaios, o resíduo cerâmico final gerado em função dessa incorporação de resíduo de rocha.

3. METODOLOGIA

O resíduo de rocha utilizado foi obtido de empresa localizada no norte do Espírito Santo, sendo este proveniente da serragem dos blocos por meio de tear multifio. A argila amarela utilizada é caulínica e a sua composição química (ALTOÉ & BABISK, 2013) pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química da argila (% em peso)

Composição (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.
42,5	34,2	7,1	0,9	0,3	0,2	1,1	1,0	0,2	12,4

* PF: perda ao fogo

Foi feito o quarteamento do resíduo por meio de pilha alongada e quarteador Jones. O resíduo foi caracterizado por meio de difração de raios-X (DRX), análise química, tamanho de partícula, análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e densidade. Para os ensaios de DRX, as amostras foram passadas a 74 µm (200 malhas).

O DRX foi obtido pelo método do pó, coletado em um equipamento Bruker-AXS D5005, utilizando radiação CoK α . A composição química foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) usando um espectrômetro WDS

modelo AXIOS da Panalytical e a perda por calcinação em equipamento Leco TGA-701. A distribuição do tamanho de partícula foi realizada utilizando o equipamento Mastersizer 2000, da Malvern Instruments e a densidade, por meio de picnometria (aparelho AccuPyc 1330 Pycnometer). Micrografia foi obtida por MEV utilizando o equipamento FEI Quanta 400.

A argila amarela e o resíduo foram peneirados utilizando peneira de 42 mesh (0,354 mm). Foram preparadas massas cerâmicas com incorporação de 0, 10, 25, 30 e 40% em peso de resíduo na argila, respectivamente, (Tabela 2) e com 8% de umidade, para contribuir para a fabricação das cerâmicas.

Tabela 2: Composição das massas cerâmicas (% em peso) e quantidade de corpos de prova (C.P.) em cada massa.

	M0	M10	M25	M30	M40
Quantidade C. P.	40	05	40	05	05
Resíduo de Rocha (%/g)	0	10 (50g)	25 (625g)	30 (150g)	40 (200g)
Argila Amarela (%/g)	100 (2500g)	90 (450g)	75 (1875g)	70 (350g)	60 (300g)

Os corpos de prova cerâmicos foram preparados por prensagem uniaxial a 20 MPa com ação única do pistão superior em uma matriz de aço com seção retangular (114,3 x 25,4 x 10 mm³). Compactados, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa a 110 °C por 24 horas. Após serem medidos e pesados, os corpos de prova foram queimados a 1030°C e taxa de aquecimento de 2°C/min.

Após a queima, foram realizados os ensaios de tensão de ruptura à flexão (ASTM C674), absorção de água (ASTM C373) e retração linear (ASTM C326).

Os corpos cerâmicos com 0 e 25% de resíduo de rocha foram britados em um britador de mandíbulas e submetidos aos procedimentos de obtenção de extrato lixiviado e solubilizado conforme as normas NBR 10005 (ABNT, 2004a) e NBR 10006 (ABNT, 2004b) e seus resíduos finais foram classificados de acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004c).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra a composição química do resíduo. Observa-se que o resíduo é composto por alta concentração de sílica (SiO₂) e Al₂O₃, o que é característica típica de rochas graníticas. Pode-se observar alta quantidade de Na₂O + K₂O, que são óxidos alcalinos provenientes principalmente da mica e feldspatos e podem atuar como fundentes e contribuir para a sinterização da cerâmica. A baixa quantidade de ferro (Fe₂O₃) é devido a não utilização da granalha na serragem, uma vez que o corte foi efetuado por tear multifio. A baixa perda por calcinação (PPC) é uma vantagem para a qualidade da cerâmica.

Tabela 3: Composição química (% em peso) do resíduo da serragem de blocos

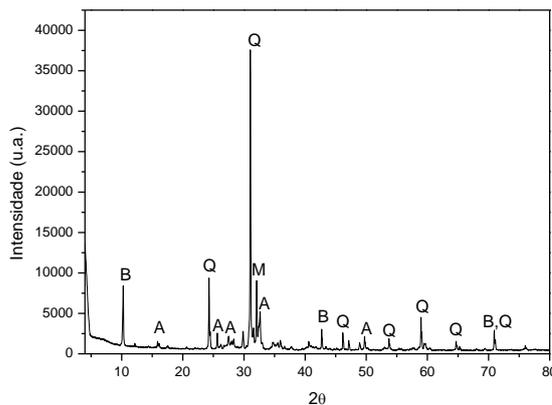
Composição (%)												
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	PPC	
3,2	0,3	15,0	73,4	0,2	0,02	4,2	0,9	0,1	0,03	1,2	1,4	

É mostrado na Figura 1 o difratograma de raios-X do resíduo estudado. Nota-se a indicação das fases mineralógicas relacionadas com os picos característicos de cada

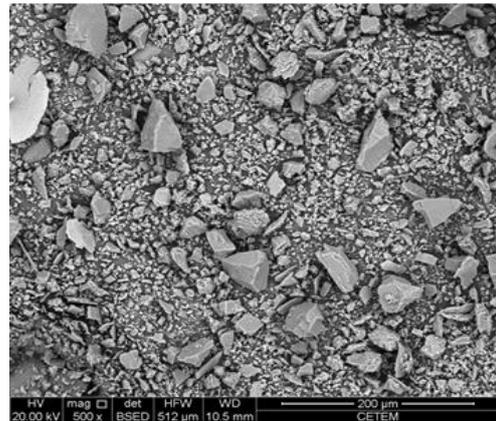
mineral. Pode-se verificar as fases cristalinas referentes ao quartzo (SiO_2), microclina (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), além da presença de biotita. A microclina e a albita podem atuar como fundentes durante o processo de sinterização da cerâmica.

Foi observado que 10% das partículas do resíduo possuem tamanho de partícula inferior a 2 μm , o que corresponde a argilomineral. Também se observou que 50% das partículas do resíduo possuem tamanho de partículas de até 13 μm , comprovando que o material é bastante fino. Isto indica que o resíduo pode ser usado na cerâmica. A densidade do resíduo é de 2,86 g/cm^3 .

A micrografia obtida por MEV (Figura 2) mostra as partículas do resíduo. Observa-se o quartzo (SiO_2), que possui dureza e resistência a fragmentação, em meio a uma massa mais fina. É observada uma ampla faixa de tamanho de partículas, com morfologia irregular.



(1)



(2)

Figura 1: Difratograma de raios-X do resíduo. A=albita, Q=quartzo, M=microclina, B=biotita

Figura 2: Micrografia obtida por MEV do resíduo de rocha.

A Tabela 4 apresenta os resultados da absorção de água, retração linear e resistência à flexão. Foi observado que não houve mudança nos valores obtidos na absorção de água, utilizando o valor do erro estatístico, quanto à adição de resíduo na massa cerâmica. A retração linear diminuiu nas massas com resíduo, e uma baixa retração contribuiu para um melhor controle dimensional do material. A resistência à flexão diminuiu com a adição de resíduo, com exceção da composição com 10% de resíduo, utilizando o erro estatístico. Isso ocorreu, provavelmente, devido ao quartzo, mineral que compõe o resíduo, que atua como inerte e pode contribuir na geração de trincas.

Tabela 4: Absorção de água (AA), retração linear (RL) e resistência à flexão (RF) das cerâmicas estudadas

Composições	M0	M10	M25	M30	M40
A.A. (%)	18,6±0,2	18,0±0,4	18,1±0,3	18,5±0,9	18,0±0,6
R.L. (%)	3,5±0,2	2,8±0,1	2,2±0,2	1,9±0,2	1,7±0,1
R.F. (MPa)	6,3±0,6	5,3±0,4	3,2±0,4	3,2±1,0	2,4±0,2

O resíduo de rocha utilizado nesse estudo foi classificado como não inerte devido à alta quantidade de alumínio e fenóis totais. Após a análise do extrato lixiviado e solubilizado da massa cerâmica contendo 0 e 25% de resíduo de rocha ornamental, os resultados mostraram que na massa cerâmica com resíduo, os parâmetros analisados estão de acordo com o padrão máximo exigido pela norma NBR ABNT 10004 (2004c).

O resultado da análise do extrato lixiviado e solubilizado da massa cerâmica sem resíduo apresentou um valor de alumínio acima do máximo permitido pela norma.

A presença de 25% desse resíduo de rocha proveniente de tear multifio na massa cerâmica resulta em um resíduo cerâmico classificado como inerte, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004c), o que contribui em uma utilização ecológica desse resíduo, tornando-o matéria prima na fabricação de cerâmica.

5. CONCLUSÃO

O resíduo de rocha apresenta óxidos alcalinos (Na_2O e K_2O), que contribuem para a sinterização da cerâmica durante a queima, e, portanto, podem contribuir para a redução da porosidade. A incorporação do resíduo de rocha na massa argilosa para produção de cerâmica é uma alternativa promissora, pois possibilita um destino ambientalmente correto para o resíduo, além de ser eficaz, uma vez que esta adição contribui em um material cerâmico de qualidade equivalente, comprovando sua viabilidade técnica.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a minha família pelo incentivo, a minha orientadora Mônica Borlini pela dedicação, ao CNPq pela bolsa concedida (processo **159450/2013-6**), a equipe do Núcleo Regional do CETEM de Cachoeiro de Itapemirim/ES por toda a colaboração e ao IFES, CETEM e UENF pelo empréstimo dos equipamentos utilizados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTOÉ, T. P; BABISK M. P. **Desenvolvimento de Cerâmica Utilizando Lama Vermelha Gerada na Indústria de Beneficiamento de Alumina**. JIC. 4p. 2013

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials**. 4 p. C 674-77, USA, (1977).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles**. 3 p. (ASTM C373-14).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays**. 2 p. (ASTM C326 – 09).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. Disponível em < <http://www.abirochas.com.br/>> Acesso em 3 de junho de 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido**. 16p. (Norma ABNT NBR 10005). 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. 3p. (Norma ABNT NBR 10006). 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resíduos sólidos – Classificação**. 71 p. (Norma ABNT NBR 10004). 2004c.

ESTUDO DA INTERAÇÃO ENTRE RESINAS E A ALBITA COMPONENTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Letícia Maia Prates

Aluno de Graduação de Química 7 ° período, FTESM

lprates@cetem.gov.br

Julio Cesar Guedes Correa

Orientador, Químico Industrial, D.Sc.

jguedes@cetem.gov.br

Alexandre Carauta

Co-orientador, Químico, D.Sc., FTESM

ancarauta@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

A resinagem é uma etapa fundamental para o beneficiamento de rochas ornamentais, possuindo o propósito de remover alguma possível imperfeição presente, melhorar a qualidade e estruturação da peça (LOPES, 2003) e ainda auxiliar na proteção contra agentes externos que possam danificá-la. Atualmente, o principal produto usado para esta finalidade é a resina epóxi, que apresenta como um inconveniente a toxicidade. O óleo de mamona é uma substância biodegradável e menos tóxica e o triglicerídeo do principal ácido graxo componente, tri-ricinoleil glicerol, possui em sua estrutura grupos funcionais bastante reativos que podem interagir com minerais possibilitando o seu uso para esta finalidade.

2. OBJETIVOS

Avaliar por meio de mecânica e dinâmica molecular e ainda análise de ângulo de contato a interação entre o óleo de mamona e o mineral albita, componente de granitos, para a verificação de viabilidade do uso dessa resina na etapa de resinagem em rochas ornamentais e comparação com a interação com a resina epóxi.

3. METODOLOGIA

3.1 Construção e otimização das estruturas

As estruturas do tri-ricinoleil glicerol e da resina epóxi foram construídas com o software *Materials Visualizer*. Ambas foram submetidas a uma otimização de geometria para obtenção de uma melhor estrutura de partida com o uso do campo de força *Dreiding*, no módulo do programa *Forcite* com o método de otimização *Conjugate Gradient*, todos presentes no pacote de programas *Materials Studio 4.3.0.0*.

3.2 Dinâmica molecular

Após a otimização de geometria por mecânica molecular, foi feita a dinâmica molecular para a obtenção da conformação mais estável, sendo utilizado o campo de força *Dreiding*, temperatura fixa em 298 K, e tempo de dinâmica de 1 ns.

A análise de trajetória a partir dos dados obtidos permitiu varrer o espaço conformacional. Um gráfico foi gerado em função da energia (Kcal/mol) e do tempo, tendo sido descartadas as 1000 primeiras estruturas que correspondem ao início da dinâmica onde o sistema ainda está energeticamente instável. As demais estruturas foram postas em ordem crescente de energia, selecionando-se as 5 estruturas que possuíam menor energia para as duas resinas.

As estruturas selecionadas passaram por uma segunda geometria de otimização usando o mesmo campo de força para a seleção da estrutura mais estável. A frequência de cada estrutura foi calculada pelo método semiempírico AM1 no software *Gaussian 03W 6.0* para garantir que as estruturas eram mínimos de energia. Após, as energias obtidas foram novamente analisadas para a escolha da estrutura mais estável.

3.3 Interação resina-albita

A estrutura do mineral albita foi obtida pelo banco de dados cristalográficos do software *Materials Studio* e com as estruturas mais estáveis das resinas selecionadas anteriormente foram montadas estruturas em condições periódicas de contorno (PBC) para a simulação da interação do sistema albita-epóxi e albita-mamona. Ambas foram otimizadas utilizando o campo de força *Dreiding* para posterior cálculo de dinâmica molecular.

3.4 Experimental

3.4.1 Preparação das amostras

Foram utilizadas três amostras de chapas de granito, um puro, um resinado com uma camada de resina epóxi e outro resinado com uma camada de óleo de mamona. Dessas chapas, foi retirada uma fina lâmina que foi posteriormente britada, pulverizada e peneirada para obtenção de material em granulometria entre 0,297 mm e 0,420 mm.

3.4.2 Análise de ângulo de contato

As medidas de ângulo de contato foram feitas pelo tensiômetro Krüss K100. As amostras foram pesadas e compactadas em um cilindro a uma altura de aproximadamente 2 cm, por onde é feita a ascensão capilar. O tubo possui um filtro poroso em sua extremidade. Utilizou-se os solventes n-hexano e água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelagem molecular

Os resultados obtidos com a otimização do sistema resina-albita mostraram que a interação ocorre efetivamente sendo energeticamente favorável. A energia de estabilização pôde ser calculada através da Equação 1.

$$\Delta E = E_{\text{ligado}} - E_{\text{não-ligado}} \quad (1)$$

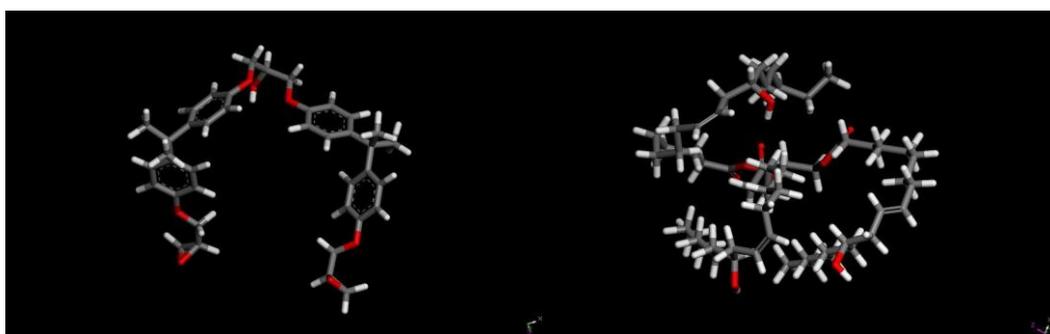
Os valores de energia obtidos após a otimização são expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Diferença de energia de interação das duas resinas com a albita antes e após a realização da geometria de otimização

Sistema resina-albita	ΔE (kcal/mol)
Albita-Epóxi	-225,48
Albita-Mamona	-1406,23

As moléculas das duas resinas foram postas inicialmente a uma distância em torno de 5 Å da estrutura do mineral albita e foi observado que após a realização da geometria de otimização, as distâncias para ambos sistemas diminuiram mostrando que há interação entre as resinas e o mineral.

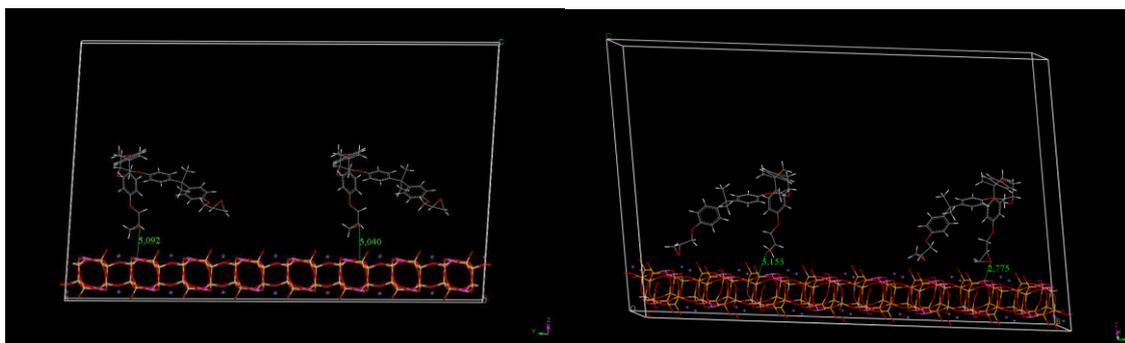
De acordo com os valores de energia, a interação com o tri-ricinoleil glicerol mostrou-se mais forte do que com a resina epóxi devido ao valor mais baixo apresentado de diferença de energia do sistema ligado e não-ligado. As Figuras 1, 2 e 3 abaixo mostram as representações das estruturas.



(a)

(b)

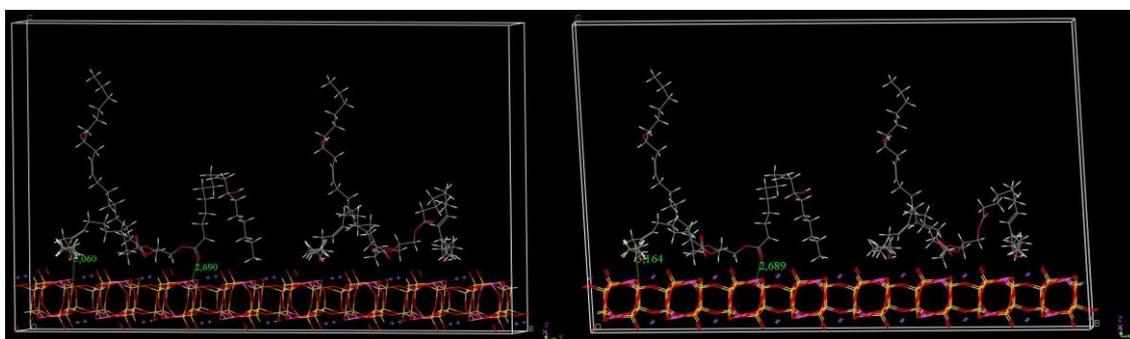
Figura 1: (a) Estrutura mais estável da resina epóxi e (b) Estrutura mais estável do tri-ricinoleil glicerol.



(a)

(b)

Figura 2: (a) e (b) Interação da resina epóxi com a albita antes e depois da geometria de otimização, $E = 677,50$ kcal/mol e $E = 452,02$ kcal/mol, respectivamente.



(a)

(b)

Figura 3: (a) e (b) Interação do tri-ricinoleil glicerol com a albita antes e depois da geometria de otimização, $E = 651,45$ kcal/mol e $E = -754,78$ kcal/mol, respectivamente.

4.2 Ensaio de ângulo de contato

Os valores obtidos de ângulo de contato puderam corroborar com os resultados dos cálculos de mecânica e dinâmica molecular. A Tabela 2 mostra os resultados encontrados.

Tabela 2: Valores de ângulo de contato para o solvente água.

Amostra	Massa (g)	Ângulo
Granito puro	2,26900	40,91°
Granito-Epóxi	2,26956	66,65°
Granito-Mamona	2,26191	68,24°

A análise de ângulo de contato é uma forma de medir a interação entre uma superfície e um líquido. Pelos resultados, pode-se observar que o valor do ângulo de contato entre a água e um granito resinado com o óleo de mamona é maior do que com um resinado pela resina epóxi. Esse resultado sugere que o óleo de mamona impermeabilizaria melhor esse mineral, visto que ele interagiria menos com a água, o que complementa o observado pela modelagem molecular, o óleo de mamona interage mais fortemente com o mineral, possibilitando o seu emprego na etapa de resinagem. Cálculos de dinâmica molecular ainda serão feitos para a interação entre as resinas e a albita para obtenção de mais resultados e melhor compreensão dos mesmos.

5. CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que o óleo de mamona pode ser uma alternativa de produto para uso na etapa de resinagem de rochas ornamentais, visto que é capaz de interagir com a estrutura de minerais e ainda apresenta a capacidade de impermeabilização superior à das resinas epóxi comumente utilizadas, resultado observado tanto por método computacional como experimental. Ressalta-se ainda que mais simulações e experimentos ainda serão feitos para uma melhor avaliação e conclusão.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CETEM pela infraestrutura oferecida, a CATE e a química Debora Sanchez pelo auxílio nas análises.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALDARA, J.A, **Modelagem Molecular do Óleo de Mamona para Uso de Polimento de Rochas Ornamentais**, XIX Jornada de Iniciação Científica, CETEM, Rio de Janeiro (2011).

LOPES, L., **Resinagem em Chapas de Granito**, Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, UFCE, 2003.

ROSA, D.S, **Estudo da Interação Albita-Ácido Ricinoleico por Dinâmica Molecular**, XXI Jornada de Iniciação Científica, CETEM, Rio de Janeiro (2013).

VIEGAS, T.Y, **Estudo de Ângulo de Contato da Apatita e Calcita na Presença de Lauroyl Sarcosinato de Sódio pelo Método de Ascensão Capilar**, XX Jornada de Iniciação Científica, CETEM, Rio de Janeiro (2012).

EFEITO DE DESCARGAS ELÉTRICAS NA ESTRUTURA MINERALÓGICA DA PEDRA SABÃO QUE RECOBRE O CRISTO REDENTOR

Paula Espinosa Santos

Aluna de Graduação em Engenharia Química 3º período, UFRJ

Período CETEM : setembro de 2013 a julho de 2014.

pesantos@cetem.gov.br

Marisa Bezerra de Melo Monte

Orientadora, Eng. Química, D.Sc.

mmonte@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Eng. Químico, D.Sc.

rcarlos@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O monumento ao Cristo Redentor localizado na cidade do Rio de Janeiro foi construído na década de 30 e representa uma das sete maravilhas do mundo moderno. É constituído de uma estrutura em concreto armado recoberto por um mosaico de pequenas peças triangulares de pedra sabão, que são chamadas de tesselas (RIBEIRO *et al.*, 2010).

As tesselas protegeram o monumento ao longo dos anos, principalmente por serem extremamente hidrofóbicas. No entanto, durante as últimas intervenções de restauro tem se percebido consubstancias absorções de água por parte das tesselas, facilitando a entrada de água e danificando a estrutura de concreto do monumento (GOUGON, 2009).

No ano de 2010, durante o último restauro, o CETEM foi responsável pelo suporte tecnológico e realizou um estudo que pôde detectar que uma das causas da degradação das tesselas era a grande proliferação microbológica que gerava ácidos em seu metabolismo, destruindo assim as tesselas, que passaram a apresentar absorções de água na ordem de 6%, onde na verdade deveria ser em torno de 1% (RIBEIRO *et al.*, 2010).

Além disso, por estar localizado em dos pontos mais altos do Rio de Janeiro, no morro do Corcovado, o monumento sofre ataques constantes de descargas elétricas, que na maioria das vezes arrancam e pulverizam boa parte das tesselas da cabeça, dedos e queixo, mas que possivelmente alteram sua estrutura mineral ou expõem minerais menos resistentes, criando um ponto suscetível de degradações.

2. OBJETIVOS

Baseado nos fatos relatados pretende-se verificar os efeitos dos raios de trovões na estrutura mineral das tesselas de pedra sabão que recobrem o monumento do Cristo Redentor.

3. METODOLOGIA

3.1 Origem das Tesselas

Foram utilizadas tesselas originais, retiradas do monumento do Cristo Redentor, com autorização do Instituto do Patrimônio Artístico e Histórico Nacional (IPHAN).

3.2 Caracterização das Tesselas

3.2.1 Análise Química por FRX

A caracterização química foi realizada utilizando a técnica de Fluorescência de raios-x pela Coordenação de Análises Mineraias (COAM) do CETEM.

3.2.2 Análise Mineralógica por DRX

A caracterização mineralógica foi realizada utilizando a técnica de difração de raios-x pela Coordenação de Análises Mineraias (COAM) do CETEM.

3.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

As análises foram efetuadas num microscópio eletrônico de varredura (MEV) FEI Quanta 400 com um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax acoplado.

3.2.4 Índices Físicos

O ensaio de índices físicos permite determinar a porosidade e absorção de água da rocha, e foi realizado por meio da norma ABNT. NBR 12.766/92.

3.3 SELFRAG - High Voltage Pulse Power Fragmentation

Com a finalidade de simular o ataque de um raio natural, as amostras de tesselas foram encaminhadas para Suíça para receber uma descarga elétrica em uma planta de SELFRAG. Esta tecnologia aplica energia elétrica a materiais imersos em um líquido processado. Líquidos dielétricos, com água, tem uma alta força dielétrica quando o tempo de subida da voltagem se mantém abaixo de 500 ns. Como resultado, descargas são introduzidas dentro o material imerso e essa energia é transformada em ondas de choque acústico sob um regime de alta tensão dentro do material.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Química – FRX

A figura 1 apresenta a distribuição dos principais elementos químicos, na forma de óxidos, que compõe a tessela extraída do monumento, antes e após a descarga elétrica. Pode-se verificar que após a descarga elétrica há um aumento das concentrações de magnésio, alumínio, cálcio e da perda ao fogo. Além disso, observa-se a diminuição de ferro, silício, potássio e sódio. Tal fato pode estar relacionado na formação ou maior expo-

sição de novos minerais, após o ataque dos raios, que serão verificados na análise mineralógica.

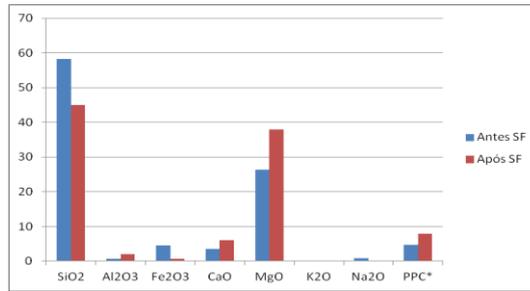


Figura 1: Análise Química da tessela antes e após *Selfrag*.

4.2 Análise Mineralógica - DRX

Nas Figuras 2 e 3 apresentam-se os difratogramas da pedra sabão antes e após o ataque dos raios, respectivamente, onde se pode observar o aparecimento de dolomita, corroborando o aumento de magnésio que compõe esse mineral e também da perda ao fogo, devido a possível presença dos carbonatos associados. O aparecimento da dolomita pode estar relacionado a dois fatores: formação de um novo mineral, onde o magnésio se desprende da estrutura do talco e forma o carbonato, devido à alta temperatura e pressão; ou a saída de minerais acessórios, como a tremolita, permitindo a exposição da dolomita que poderia estar no interior da estrutura da rocha, antes não identificada.

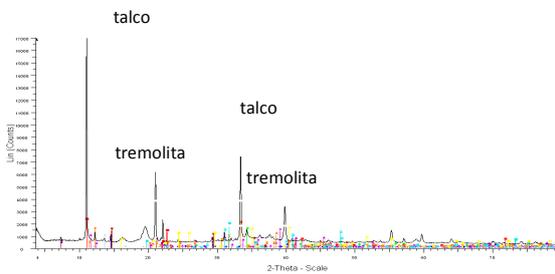


Figura 2: DRX da Tesselas antes do *Selfrag*

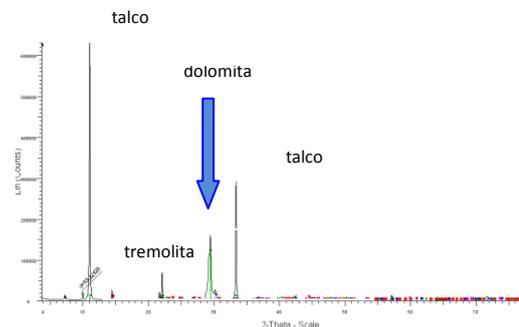


Figura 3: DRX após o *Selfrag*.

4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 4 observa-se a estrutura da tessela antes da descarga elétrica, evidenciando as estruturas de talco. Após a descarga (Figura 5), observa-se a desfragmentação da amostra de talco e a visualização de novos minerais como dolomita e calcita.

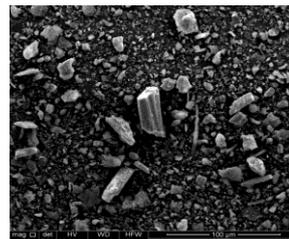
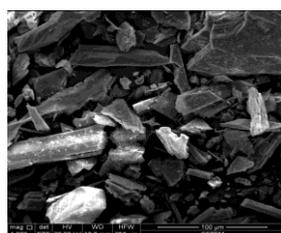


Figura 4: MEV antes do *Selfrag* (1000x). **Figura 5:** MEV após o *Selfrag* (1000x)

4.4 Índices Físicos

Na Figura 6 observa-se que a porosidade e absorção de água da tessela extraída do monumento são da ordem de 3 e 2%, respectivamente. Após a passagem do protetivo Silano-siloxano, utilizado no monumento, a porosidade e a absorção reduzem para valores em torno de 0,3%, tornando a superfície mais hidrofóbica. Após a descarga elétrica, a porosidade aumenta para cerca de 8% e a absorção de água para 3%. Tal fato, pode estar relacionado com a formação ou maior exposição de novos minerais, como dolomita e calcita, que são capazes de absorver uma quantidade superior de água que a pedra sabão original. Por fim, verifica-se que mesmo com o protetivo aplicado, a descarga elétrica faz com que a rocha apresente uma porosidade de 5% e uma absorção de 2%, indicando a grave alterabilidade da rocha, comprovando ser um ponto de degradação das tesselas e que o protetivo utilizado não é tão eficaz para pontos do monumento onde há incidências de raios, uma vez que se trata de outro mineral.

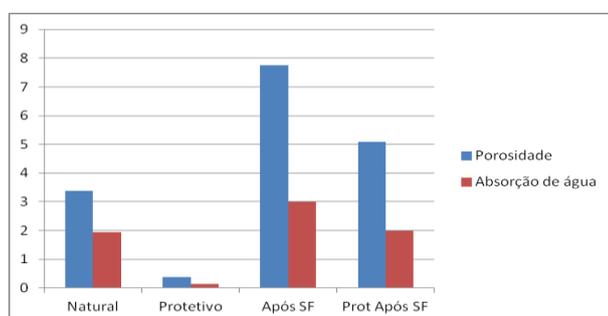


Figura 6: Porosidade e absorção de água das tesselas antes e após selfrag

5 CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que os raios que atingem a pedra sabão podem formar ou expor novos minerais mais susceptíveis às degradações, facilitando a degradação da estrutura do monumento. Além disso, o protetivo aplicado no monumento pode não estar sendo eficaz no impedimento das deteriorações, pois é mais específico para pedra sabão e em alguns pontos, outros minerais, como dolomita e calcita, são mais proeminentes. .

6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, ao CETEM e a COAM pela infraestrutura, à técnica Michelle e a bolsista Débora Sanchez.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOUGON, H. Um mosaico de braços abertos sobre a Guanabara: Mosaico de revestimento no Cristo Redentor. In: Mosaicos do Brasil. Agosto, 2009. Disponível em: <<http://mosaicodobrasil.tripod.com/id108.html>>. Acesso em: 12 maio 2014.

RIBEIRO, R. C. C, CASTRO, N. F. e QUEIROZ, J. P. C.; Verificação do efeito de hidrofugantes na superfície das tesselas de pedra-sabão (esteatito) que recobrem o monumento do Cristo Redentor, Relatório Técnico, CETEM, Rio de Janeiro, 2010.

RECUPERAÇÃO DO DIAMANTE CONTIDO NO RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM TEARES MULTIFIO

Davi Vargas de Souza

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 10º p., IFES
Período PIBIC/CETEM: julho de 2013 a julho de 2014.

dsouza@cetem.gov.br

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Orientador, Eng.de Minas, *D.Sc.*

fhollanda@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais se inicia com a extração de blocos em pedreiras, de onde eles são transportados para as indústrias de beneficiamento. O processo de beneficiamento compreende a serragem dos blocos da qual se obtém as chapas, as quais são polidas ou submetidas a outros tipos de acabamento. A tecnologia mais avançada atualmente para a serragem dos blocos é o tear multifio, uma máquina que utiliza fios diamantados como elementos cortantes. Esses consistem de um cabo de aço no qual são dispostas pérolas diamantadas (matriz metálica e diamante sintético) separadas entre si por material plástico. Durante a serragem dos blocos, os diamantes se desprendem das pérolas e se misturam ao pó fino de rocha na lama residual que é depositada em aterros. De acordo com a linha de pesquisa iniciada por Souza (2013), a recuperação do diamante contido no resíduo de serragem de rochas ornamentais pode ser de grande interesse para este setor, na busca pela sustentabilidade dos processos industriais e redução de custos.

2. OBJETIVO

Desenvolver um processo em escala piloto com o objetivo de concentrar o diamante sintético contido no resíduo oriundo da serragem de rochas ornamentais em teares multifio.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangendo técnicas de amostragem, preparação de amostras, análises físicas e operações de tratamento de minérios.

A seguir, foram feitas duas coletas do resíduo oriundo da serragem de rochas ornamentais em teares multifio na empresa Decolores Mármore e Granitos, sediada em Cachoeiro de Itapemirim – ES. As coletas foram feitas em dias e pontos diferentes, com o intuito de garantir a representatividade das amostras. Os resíduos coletados foram, então, nomeados como 1 e 2, secados, homogeneizados, e deles foram retiradas alíquotas para análises físicas, com o objetivo de conhecer as características mineralógicas e granulométricas dos resíduos (Figuras 1 a 4).

Visando concentrar o diamante contido nos resíduos coletados, desenvolveram-se no CETEM duas rotas de processamento (nomeadas como A e B) envolvendo etapas do tratamento de minérios tais como: classificação e concentração. Para os processos desenvolvidos será depositado um pedido de privilégio de invenção; por esse motivo a metodologia e os resultados que podem indicá-la não serão detalhados neste trabalho.



Figuras 1 e 2: Coleta e secagem.



Figuras 3 e 4: Homogeneização e quartejamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram processados 1.500 kg do resíduo 1, contendo 1,11 g/T de diamante utilizando a rota A, da qual se obtiveram 14,16 kg de concentrado, com um teor de diamante de 90,24 g/T.

O resíduo 2 foi concentrado utilizando a rota B, com a qual se obteve um concentrado com teor médio de diamante na faixa de 60%. A figura 5 mostra o concentrado obtido com o resíduo 2 utilizando a rota B.

Os diamantes obtidos por estes processos possuem forma (cubo-octaédrica) e tamanho (100 – 200 μm , aproximadamente) adequados para a reutilização industrial.



Figura 5: Concentrado de diamante (resíduo 2 – rota B).

5. CONCLUSÕES

A rota de processamento utilizada para concentrar o diamante sintético no resíduo 1 se mostrou eficiente, uma vez que a razão de enriquecimento obtida foi 81. Para o resíduo 2 a rota escolhida foi mais eficiente quando comparada a escolhida para o resíduo 1, uma vez que nela obteve-se um concentrado mais rico em diamante (60%).

É importante ressaltar que esse insumo (diamante sintético), em sua grande maioria, é importado e representa uma parcela significativa do custo de fabricação do fio diamantado. Portanto, sugere-se a realização de um estudo de viabilidade econômica da rota desenvolvida, uma vez que o diamante recuperado poderá ser reaproveitado industrialmente para a fabricação do fio ou em outras aplicações.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço à empresa Decolores Mármore e Granitos por ter cedido o resíduo, ao apoio do IFES e do CETEM/CATE e COPM nos ensaios, em especial Carlos Alberto Melo Santos, Leonardo Cattabriga, Jurgen Schnellrath, Michele Santos e Célio Silva. Também agradeço à todos do CETEM/NR-ES, especialmente a Nuria Castro, Leonardo Silveira, Douglas Marcon, Dghean Fazolo, Elton Santos, Vanessa Machado, Pedro Vale, Flávio da Silva, Geversson Barbosa pelo apoio ao trabalho e ao CNPq pela bolsa concedida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOUZA, Davi Vargas de. **Análise da recuperação do diamante oriundo do resíduo de teares multifio**. In: XXI – Jornada de Iniciação Científica-CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2013. 4 p.

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA COMPLETAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Natielly Andressa da Silva Souza

Aluna de Graduação de Engenharia Química – UFRJ
Período PIBIC/CETEM :abril de 2014 a julho de 2014,
nasouza@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Eng. Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

Joedy Patrícia Cruz Queiroz

Co-Orientadora, Geóloga, D.Sc.
jqueiroz@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Em quarto lugar na produção mundial de rochas ornamentais em 2011 e com produção de 9,3 milhões de toneladas em 2012, a perspectiva do Brasil é aumentar 45% dessa produção em apenas oito anos (ABIROCHAS, 2013). Atrelado a esse aumento prevê-se o aumento dos resíduos gerados no processo, pois desde a lavra ao beneficiamento das rochas ornamentais, cerca de 70%, em massa, são considerados resíduos.

Conclui-se que essa atividade tem grande importância econômica, entretanto, apresenta o inconveniente de ser uma grande geradora de resíduos. É preciso, então, que se encontrem finalidades para estes resíduos, de modo a reduzir impactos ambientais, como deposição e acúmulo na natureza, uma vez que apresentam uma riqueza mineral com potencialidade de comercialização.

Dentre algumas linhas de aplicação, está a utilização do resíduo como material alternativo nas pastas de cimentação para poços de petróleo. A cimentação dos poços de petróleo é uma prática comum e essencial na indústria do petróleo. É preciso selar as tubulações para que não haja vazamento de petróleo ou gás para formações rochosas e superfície. Tendo em vista tal importância, a cimentação é algo que compromete todo o processo de produção do petróleo. Se a cimentação primária não for bem-sucedida, esta precisará de uma reparação, que é a cimentação secundária, que atrapalhará o funcionamento do poço e também acarretará muitos prejuízos.

A pasta é injetada no espaço entre a formação rochosa e o tubo de revestimento que recebe a bainha de pasta de cimento. É de extrema importância que o cimento usado tenha propriedades químicas, mecânicas e térmicas apropriadas, assim como comportamento plástico, baixa permeabilidade e propriedades que impeçam que sofra fissura. Como a pasta é submetida a temperaturas, pressões, tensões e compressões elevadas, ela precisa apresentar tenacidade, resistência, resiliência também em graus elevados. O cimento Portland especial para cimentação de poços de petróleo é o mais utilizado (BEZERRA, 2006).

2. OBJETIVOS

Verificar a possibilidade de utilização de diferentes resíduos gerados no beneficiamento de diferentes rochas ornamentais como elemento para completação de poços de petróleo.

3. METODOLOGIA

3.1 Origem dos Materiais

Os resíduos de rochas utilizados nesse trabalho são oriundos do beneficiamento das seguintes rochas: Calcário Cariri –CE (RCC); Calcário Apodi - RN (RCA); Mármore Branco - ES (RMC); Mármore Bege da Bahia – BA (RMB); Pegmatito – PB (RP); Granito – ES (RG) e Ardósia – MG (RA). O Cimento Portland será identificado como CP.

3.2 Composição Química do Cimento Portland

O cimento utilizado para estas operações é muito específico, Portland, e de acordo com Freitas (2008) é o material mais utilizado na cimentação de poços de petróleo. Sua fabricação ocorre através das operações de mineração e britagem do calcário, preparo e dosagem da mistura crua, homogeneização da mistura, clínquerização e resfriamento e moagem de cimento. O clínquer pode ser definido como o cimento na primeira fase do fabrico, a partir do qual se fabrica o cimento Portland, geralmente com adição de sulfato de cálcio, calcário ou escória siderúrgica. Do ponto de vista químico, os pós são considerados como misturas de óxidos de cálcio, alumínio, silício, magnésia, ferro, potássio e sódio que durante o aquecimento se combinam para formar silicatos de cálcio e aluminatos, os quais são referenciados como clínquer. (FREITAS, 2008). A Tabela 1 indica a composição química do Cimento Portland, ideal para utilização na completação.

Tabela 1: Composição Química do Cimento Portland

Cal (CaO)	Sílica (SiO ₂)	Alumina (Al ₂ O ₃)	Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)
60 a 67 %	< 25 %	3 a 8 %	0,5 a 6 %

3.3 Análise Química dos Resíduos

A caracterização química dos resíduos foi realizada por meio da técnica de Fluorescência de Raios-X e foi realizada pela Coordenação de Análises Mineraias do CETEM.

3.4 Ensaio Reológico

Para o ensaio de reologia, homogeneizou-se as pastas de cimento, em água, utilizando-se de 10 a 60%, em massa de cada um dos resíduos, a uma velocidade de 4.000 r.p.m., durante 20 min. Posteriormente, as pastas foram vertidas em um viscosímetro rotativo

de cilindros coaxiais, realizando-se as leituras nas rotações de 3, 10, 30, 60 e 200 r.p.m., de maneira ascendente e descendente. A temperatura de análise foi 26,7°C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 estão apresentados os resultados da análise química dos resíduos estudados no presente trabalho, enfatizando-se os principais elementos requeridos no cimento Portland. Pode-se verificar que os resíduos oriundos do beneficiamento de calcários apresentam características similares ao cimento Portland, com maiores valores de cálcio e os menores teores de sílica, alumina e ferro, sendo os de maior aplicabilidade para cimentação de poços de petróleo. O resíduo de mármore do Espírito santo é oriundo do corte e beneficiamento de uma rocha carbonática metamórfica, com maior dureza e características diferentes das rochas calcárias sedimentares que apresentaram características similares ao desejado no cimento Portland. Em relação aos resíduos das rochas silicáticas, os resíduos de pegmatitos, granito e ardósia, não apresentam características adequadas nos teores dos elementos avaliados.

Tabela 2: Análise Química dos resíduos – FRX.

	CaO	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃
RCA	54,7%	0,72%	0,24%	0,12%
RMB	48,5%	5,2%	0,4%	0,34%
RCC	54%	0,44%	0,09%	0,49%
RMC	34%	2,5%	0,06%	2,70%
RP	0,02%	67%	18,2%	0,41%
RG	4,48%	66,32%	19,27%	2,29%
RA	1,15%	57,7%	17,21%	7,28%

4.2 Avaliação Reológica

Na Figura 1 apresentam-se os resultados da viscosidade plástica (cP) *versus* a concentração de resíduo de rocha adicionado à pasta de cimentação. Observa-se que os resíduos carbonatados tendem a reduzir a viscosidade plástica, sendo que os resíduos de calcários sedimentares favorecem muito mais a redução da viscosidade, indicando que este tipo de resíduo aumenta o efeito de lubrificação entre as partículas de cimento dispersas no meio aquoso. O resíduo carbonático oriundo do corte de mármore (origem metamórfica) reduz a viscosidade plástica, porém com menor intensidade que os resíduos de origem sedimentar. O resíduo de pegmatito apresenta um comportamento similar ao resíduo de mármore, talvez pela alta concentração de caulim ou feldspatos. Por fim, os resíduos de granito e ardósia apresentam um comportamento diferente dos demais, visto que a alta concentração de sílica aumenta a viscosidade plástica, tornando-os não adequados para este fim.

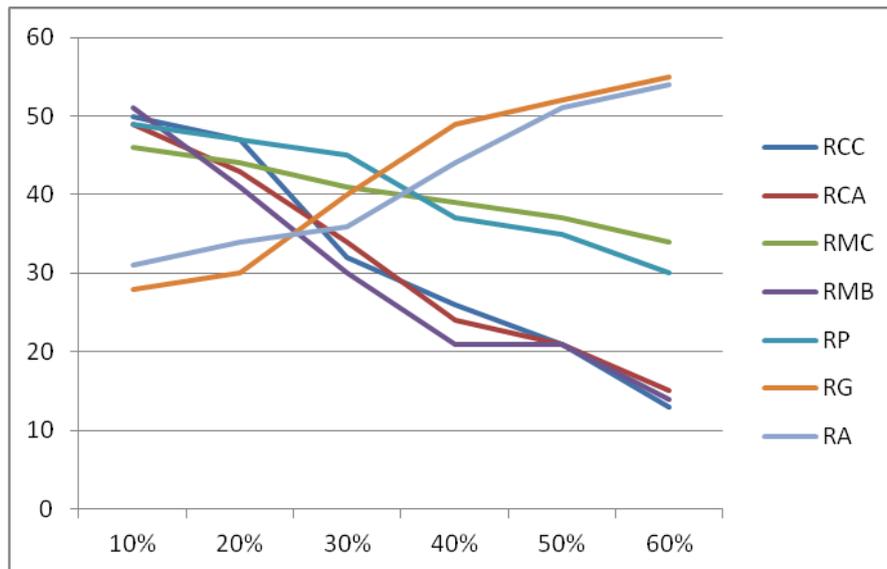


Figura 1: Viscosidade plástica (cP) versus concentração (%) de resíduos.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi elaborado com o intuito de buscar novas alternativas de utilização do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. Pelas características do resíduo de corte de rochas ornamentais conclui-se que a utilização dos Resíduos do Mármore Bege Bahia, Calcário Cariri e Calcário Apodi como agregado ao Cimento Portland é viável, uma vez que apresentam teores de óxidos de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro, condizentes com o do cimento, além de apresentarem os melhores comportamentos reológicos, obtendo-se alta fluidez sem efeito de sedimentação. Dessa forma, reduz-se o custo na produção do cimento, e, conseqüentemente, consegue-se mitigar o impacto ambiental causado por esse resíduos no ambiente.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, à CATE e ao CETEM pela infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Informe 06/2013, São Paulo – SP, Brasil.

BEZERRA, U.T. **Compósitos portland-biopolímero para cimentação de poços de petróleo.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

FREITAS, J.C.O. **Adição de poliuretana em pastas de cimento para poços de petróleo como agente de correção de filtrado.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO DE SUPERFÍCIES DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRASILEIRAS ENSAIADAS NO *TILT TEST* E PÊNDULO BRITÂNICO

Letícia Valdo

Aluna de Graduação em Engenharia de Minas 8º período, IFES

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2013 a julho de 2014,

lvaldo@cetem.gov.br

Carlos César Peiter

Orientador, Eng. Metalúrgico, D.Sc.

cpeiter@cetem.gov.br

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Co-orientador, Geólogo, D.Sc.

leolysil@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais podem ser submetidas a diferentes tipos de acabamento, sendo o polimento o mais comum. Outros tipos de acabamentos superficiais como, por exemplo, flameamento, apicoamento, jateamento e escovação imprimem na superfície da rocha padrões de rugosidade distintos. No setor cerâmico, o coeficiente de atrito dinâmico é uma variável que é utilizada como parâmetro de segurança para pisos. O setor de rochas ornamentais, entretanto, não dispõe desta informação, o que, em linhas gerais, causa um receio por parte dos especificadores em utilizar o material pétreo. Existem alguns ensaios de laboratório que determinam este coeficiente, entre eles o Pêndulo Britânico (EN 14231:2003) e o *Tilt Test* (BARTON e CHOUBEY,1997). A determinação do coeficiente de atrito dinâmico de rochas ornamentais submetidas a diferentes tipos de acabamento contribuirá para um aumento significativo na segurança no uso do material pétreo e com isso, agregará valor a esse produto.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é determinar o coeficiente de atrito dinâmico, a partir de ensaios de *Tilt Test* e Pêndulo Britânico nas superfícies de três rochas ornamentais brasileiras submetidas a diferentes tipos de acabamento superficial e verificar possíveis correlações com parâmetros de rugosidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dessa pesquisa e realização dos ensaios foram selecionados três tipos de rochas de consagrada utilização no setor de rochas ornamentais. Os materiais rochosos definidos foram um Monzogranito fino (Cinza Castelo - CCa), Monzogranito grosso (Cinza Corumbá - CCo) e um Charnockito (Verde Labrador - VL). Para cada rocha foram definidos cinco tipos de acabamento superficial (polido, escovado, flameado, jateado e apicoado) e para cada acabamento foram selecionados dez ladrilhos com dimensões de 55 cm x 55 cm, resultando em 150 amostras ensaiadas. Nos ladrilhos foram realizados o ensaio de escorregamento por meio do *Tilt Test* (Figura 1-a), como proposto por Valdo (2013), sendo posteriormente traçados os perfis de rugosidade (Figura 1-b) conforme sugerido por Souza (2012). A extensão do perfil de rugosidade foi de 300 mm sendo feita a leitura a cada milímetro, o que totalizou 4.500 medições para cada acabamento das três rochas estudadas. Os parâmetros utilizados para este trabalho foram a rugosidade média (Ra) e a rugosidade máxima (Ry).

Após a determinação do coeficiente de atrito dinâmico por meio do ensaio *Tilt Test*, realizou-se a medição desse parâmetro segundo o ensaio do Pêndulo Britânico (Figura 1- c) com vista a uma possível relação de resultados. Este ensaio foi realizado com todos os 150 ladrilhos de rochas.



Figura 1: a) Ensaio de escorregamento com o *Tilt Test*. b) Medição da rugosidade. c) Ensaio de escorregamento com o Pêndulo Britânico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos nos ensaios de Pêndulo Britânico (Figura 2) e os perfis de rugosidade das três rochas submetidas aos cinco tipos de acabamento superficial (Figura 3). Os valores de rugosidades média e máxima, juntamente com os resultados de coeficiente de atrito dinâmico obtidos nos ensaios de pêndulo e *Tilt Test* são sumarizados na Tabela 1.

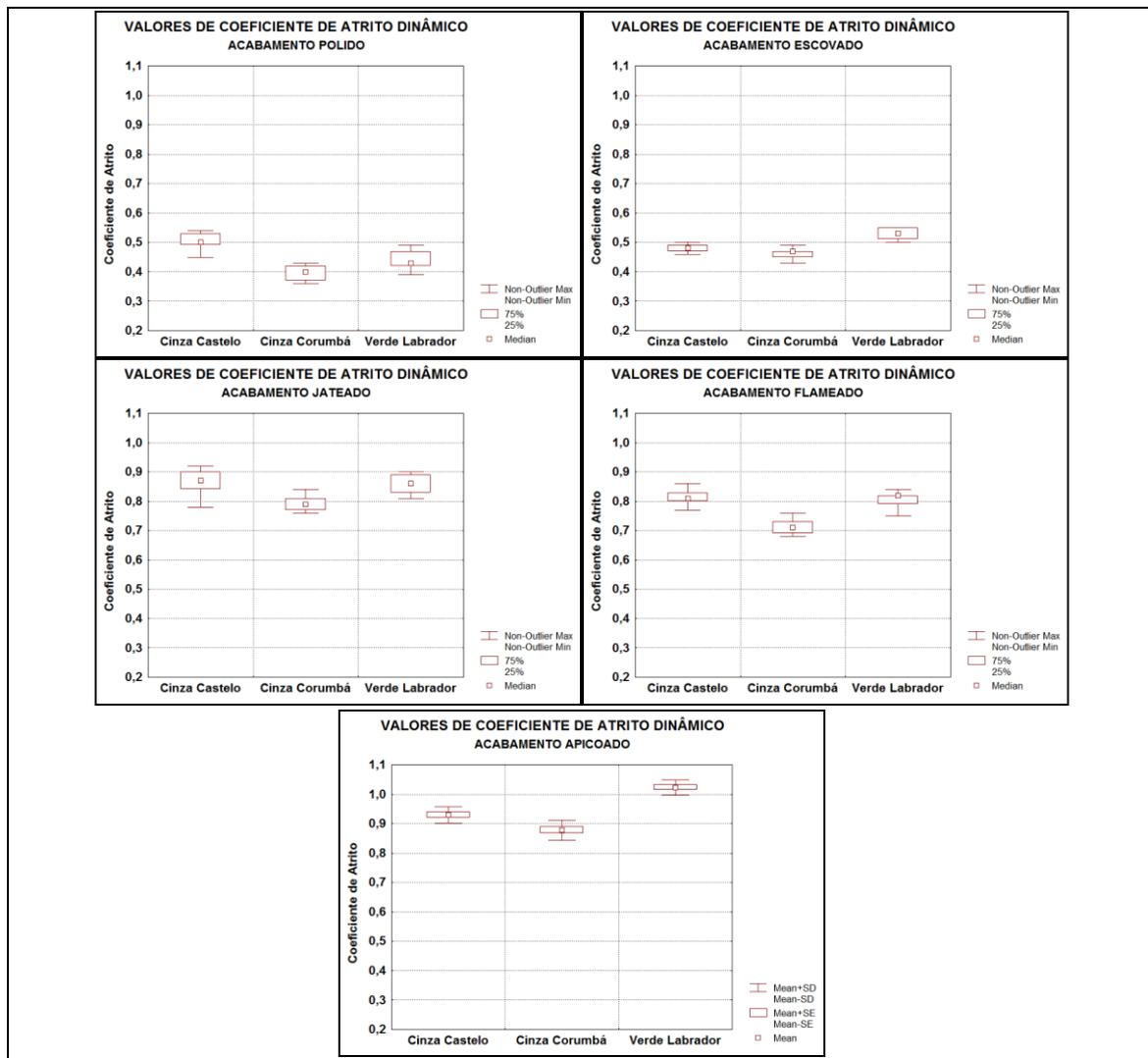


Figura 2: Valores de coeficiente de atrito dinâmico determinado pelo ensaio com o Pêndulo Britânico.

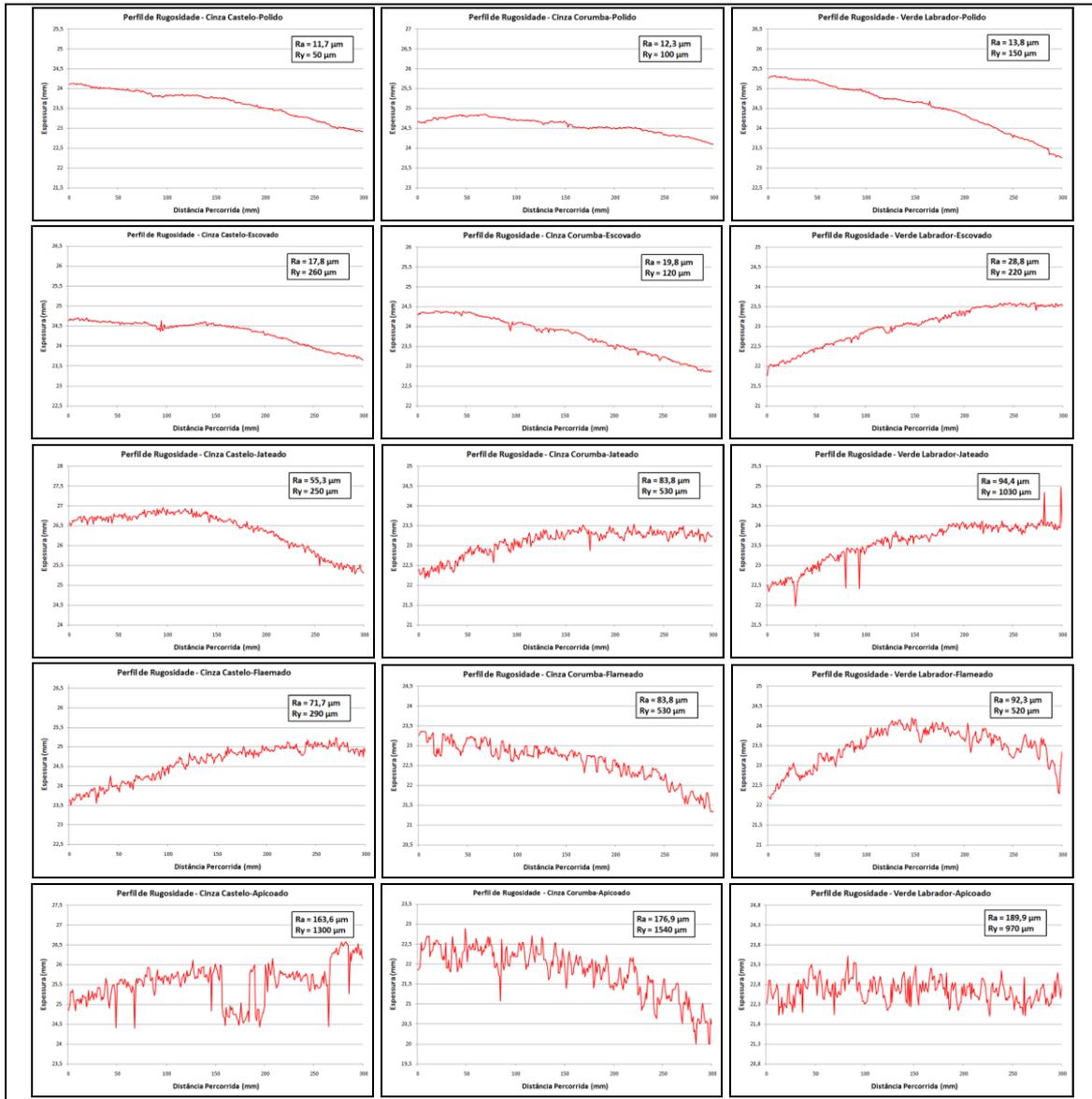


Figura 3: Perfis de rugosidade das três rochas submetidas aos diferentes tipos de acabamento superficial.

Tabela 1: Síntese dos resultados de ensaios e parâmetros de rugosidade.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO					Parâmetros de Rugosidade	
Rocha	Acabamento	Ensaio	Média	Desvio Padrão	Ra (µm)	Ry (µm)
Cinza Castelo (CCa)	Polido	Tilt Test	0,73	0,03	11,7	50
		Pêndulo	0,52	0,07		
	Escovado	Tilt Test	0,64	0,03	17,8	260
		Pêndulo	0,48	0,01		
	Flameado	Tilt Test	0,68	0,03	71,7	290
		Pêndulo	0,82	0,03		
	Jateado	Tilt Test	0,66	0,01	55,3	250
		Pêndulo	0,86	0,07		
	Apicoado	Tilt Test	0,75	0,05	163,6	1300
		Pêndulo	0,93	0,03		
Cinza Corumbá (CCo)	Polido	Tilt Test	0,69	0,04	12,3	100
		Pêndulo	0,39	0,04		
	Escovado	Tilt Test	0,71	0,02	19,8	120
		Pêndulo	0,46	0,02		
	Flameado	Tilt Test	0,67	0,03	83,8	530
		Pêndulo	0,71	0,03		
	Jateado	Tilt Test	0,71	0,02	83,8	530
		Pêndulo	0,79	0,03		
	Apicoado	Tilt Test	0,76	0,02	176,9	1540
		Pêndulo	0,88	0,04		
Polido	Tilt Test	0,66	0,05	13,8	150	
	Pêndulo	0,44	0,04			

Verde Labrador (VL)	Escovado	<i>Tilt Test</i>	0,74	0,02	28,8	220
		Pêndulo	0,53	0,02		
	Flameado	<i>Tilt Test</i>	0,69	0,03	92,3	520
		Pêndulo	0,80	0,03		
	Jateado	<i>Tilt Test</i>	0,69	0,03	94,4	1030
		Pêndulo	0,86	0,03		
	Apicoado	<i>Tilt Test</i>	0,76	0,03	189,9	970
		Pêndulo	1,02	0,03		

É possível notar que os valores de coeficiente de atrito dinâmico obtidos nos dois ensaios não apresentaram resultados similares, fato este devido à cinemática existente em ambos ser diferente. Nas três rochas estudadas os valores do *Tilt Test* foram maiores para os acabamentos polido e escovado em relação aos obtidos no ensaio de Pêndulo Britânico. Estes dois acabamentos são os que apresentam a maior área de contato, o que é corroborado com os baixos valores de Ra. Acabamentos que apresentam maiores irregularidades na superfície, quando submetidos ao ensaio de *Tilt Test* apresentam menor área de contato, o que gera resultados menores em relação ao pêndulo. Os perfis de rugosidade mostraram que os ladrilhos utilizados neste trabalho apresentavam falta de planicidade, possivelmente produto de uma serragem de má qualidade. Além desse aspecto, os acabamentos que mais agridem a rocha, principalmente o apicoado e o flameado, apresentaram nos perfis um erro de forma, caracterizada por uma convexidade (empeno).

Para trabalhos futuros, sugere-se realizar um acompanhamento na indústria, tanto nas etapas de acabamento superficial quanto no corte de ladrilhos, com vista a definir a principal fonte geradora dos erros de forma. Outro trabalho que pode ser feito é definir o tamanho do corpo de prova de *Tilt Teste* ideal para que os resultados obtidos sejam mais próximos aos obtidos no ensaio de pêndulo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda equipe do Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral, principalmente aos pesquisadores Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Nuria Fernandez Castro, ao motorista Flávio José da Silva e o técnico Jefferson Luiz Camargo. Agradeço ainda aos amigos Lucas Batista Partelli e Pedro Porto Pizetta e ao CNPQ pela bolsa concedida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTON, N., CHOUBEY, V. - **The shear strength of rock joints in the theory and practice. Rock Mechanics.** 1977.

BSI - British standards institution - BS EN 14231:2003 - Natural stone test methods. Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester.

SOUZA, D. V. - **Estudo comparativo da utilização de teares multilâminas e multifios no beneficiamento de granitos comerciais.** In: XX Jornada de Iniciação Científica - CETEM. Rio de Janeiro - RJ, 2012.

VALDO, L. - **Determinação do coeficiente de atrito dinâmico de rochas ornamentais brasileiras submetidas a diferentes tipos de acabamentos.** In: XXI Jornada de Iniciação Científica - CETEM. Rio de Janeiro - RJ, 2013.