

## PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE ARDÓSIA/RESINA COM RESÍDUO PROVENIENTE DE MINERAÇÃO

Luciana Boaventura Palhares<sup>1</sup>, [lbpalhares@hotmail.com](mailto:lbpalhares@hotmail.com)  
Elaine Carballo Siqueira Correa<sup>1</sup>, [elaine@deii.cefetmg.br](mailto:elaine@deii.cefetmg.br)  
Wellington Lopes<sup>1</sup>, [wellingtonlopes@deii.cefetmg.br](mailto:wellingtonlopes@deii.cefetmg.br)  
Castro, G.H., [guilherme\\_hoffman@hotmail.com](mailto:guilherme_hoffman@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Thais Santos<sup>1</sup>, [thaissilva.eng@gmail.com](mailto:thaissilva.eng@gmail.com)  
Jaqueline Santana Saab<sup>1</sup>, [jsantanasaab@hotmail.com](mailto:jsantanasaab@hotmail.com)  
Claudio Gouvêa dos Santos<sup>2</sup>, [claudio@iceb.ufop.br](mailto:claudio@iceb.ufop.br)

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET). Departamento de Engenharia de Materiais. Avenida Amazonas, 5352, Nova Suíça, Belo Horizonte, MG. CEP: 30.421-169

<sup>2</sup>Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Química. Campus Morro do Cruzeiro. Ouro Preto. CEP: 35400-000

**Resumo:** O presente trabalho refere-se a um processo para a produção de rocha artificial de ardósia com resíduos de sua extração e beneficiamento que são negativamente impactantes à sociedade e ao meio ambiente, agregando valor ao processo produtivo. Os resíduos sob a forma de lodo composto principalmente de água, lubrificantes e rochas trituradas, de tamanho de partícula inferior a 2 mm, acumulam-se em estaleiros, reservatórios e riachos, afetando o meio ambiente em áreas de extração, particularmente em Minas Gerais. O Estado de Minas Gerais (Brasil) responde a cerca de 95% pela produção brasileira de ardósia e gera uma média de  $1,8 \times 10^5$  toneladas de resíduos por ano. A produção de materiais alternativos com resíduos gerados nas indústrias transformadoras de rochas como componentes pode reduzir ou mesmo eliminar a poluição nas áreas de extração, além de promover o surgimento de novas oportunidades de emprego e renda essenciais ao progresso e desenvolvimento do país. A produção de pedra artificial com propriedades similares às rochas naturais envolve o uso de uma mistura contendo até 75% do pó de ardósia e resina poliéster. Os componentes são misturados, depositados na cavidade do molde e submetidos à vibração. Após 24 horas o compósito é removido para caracterização física e mecânica. A rocha pode ser utilizada como pisos, telhas ou decoração. Os ensaios mostraram valores de resistência à flexão entre 5 e 11 MPa, microdureza vickers entre 18 e 32 e absorção de água inferior a 1%.

**Palavras-chave:** rocha artificial, ardósia, resina poliéster

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o acelerado processo de urbanização das cidades têm demandando cada vez mais matérias primas para desenvolvimento de processos e produtos, principalmente para aplicação em construção civil. Os resíduos gerados, principalmente em cidades onde há indisponibilidade ou escassez de agregados naturais, exigem cada vez mais a reutilização dos rejeitos dentro de processos já existentes ou novos (Palhares, et al, 2016).

Muitas vezes, devido a problemas de fiscalização, os rejeitos de mineradoras e construções, são responsáveis por deposições clandestinas que geram impactos ambientais podendo trazer riscos à população como proliferação de doenças, assoreamento dos córregos e demais recursos hídricos e obstrução dos sistemas de drenagem com consequente aumento das enchentes nas estações chuvosas (Palhares, et al, 2016).

No caso das indústrias de extração e beneficiamento da ardósia, o problema se agrava com a falta de conscientização e investimentos dessas empresas no tratamento dos resíduos gerados. Tanto os processos de extração e corte da rocha quanto àqueles ligados à sua aplicação levam a produção de grandes quantidades de resíduos na forma de pó ou lascas. Este material apresenta pequeno valor tecnológico agregado e, frequentemente, acaba resultando em problemas de remanejamento de lixo e assoreamento de leitos fluviais (Carvalho, et al, 2007).

Devido a grande utilização da ardósia na construção civil, sua exploração é intensa e, consequentemente, há produção de grandes quantidades de rejeitos. Minas Gerais é o maior produtor de ardósia natural no Brasil e possui, de acordo com o Anuário Mineral Brasileiro (2010), cerca de 733 milhões de toneladas de reservas lavráveis.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2014), em 2013 o Brasil foi o terceiro maior exportador de produtos em ardósia, atrás da Espanha e China. É o segundo maior produtor e o segundo maior consumidor mundial, com Minas Gerais respondendo por cerca de 95% da extração.

Em 2013, a produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento totalizou cerca de 10,5 milhões de toneladas (Chiodi, et al, 2014). Estimando-se que 7% desta produção sejam de ardósia, como em 2009, e que a geração de resíduos seja de 25% da produção, totaliza-se  $1,8 \times 10^5$  toneladas de rejeitos.

Como a ardósia possui grande aplicabilidade por causa de suas características, diversos autores (Oliveira, et al, 2000; Barreiros, et al, 2002; Campos, et al, 2004; Cambronero, et al, 2005; Cunha, 2007; Frias, et al, 2014) tem

trabalhado com a possibilidade de reaproveitamento destes resíduos na produção de novos produtos, apresentando novos métodos que visam diminuir os impactos ambientais que são causados devido ao descarte incorreto dos resíduos de ardósia.

O Brasil importa materiais de alto valor comercial, compostos essencialmente por fragmentos de rochas. Esse material conhecido como rocha artificial apresenta propriedades mecânicas similares às da rocha natural com uma menor absorção de água. Apesar do elevado preço, placas de rocha artificial apresentam propriedades superiores às das placas cerâmicas de primeira linha, em função da sua excelente resistência à flexão e ao brilho superficial (Lee, et al, 2008).

O presente trabalho buscou estudar a viabilidade da produção de amostras de rocha artificial para utilização em revestimentos através da obtenção de um compósito resina/rocha por moldagem. O domínio da técnica e produção pode oferecer aos países produtores de rochas ornamentais, como o Brasil, meios para a redução dos volumes de rejeitos depositados, além de possibilidade de novos produtos e geração de empregos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O pó de ardósia utilizado foi gerado nas etapas de corte e extração da rocha nas minas localizadas próximas ao Rio Paraopeña, em Pompéu, Minas Gerais. Inicialmente o resíduo do pó de ardósia foi secado em estufa à temperatura 120°C por 24 horas e em seguida foi classificado em uma peneira de 2mm.

O rejeito foi caracterizado quanto à composição mineralógica por difração de Raios-X (DRX) em equipamento SHIMADZU XRD-7000, objetivando identificar a composição e as respectivas estruturas cristalinas dos compostos. Foram adotadas as seguintes condições de análise: velocidade de escaneamento = 2°/min e ângulo de varredura variando de 3 a 85°, com alvo metálico de cobre.

As misturas foram preparadas utilizando as resinas de poliéster insaturado ortoftálico. Para diminuir a viscosidade da resina, quando necessário, foi adicionado estireno puro em porcentagens de até 20%. O processo de polimerização foi acelerado com a adição de um catalisador (Fornecidos pela empresa Redelease – São Paulo).

As misturas usadas neste trabalho foram produzidas com 10%, 30%, 50% e 70% de pó de ardósia com resina. Após a mistura da resina e pó de ardósia em um misturador planetário, o molde foi preenchido com a pasta em mesa vibratória. As placas foram deixadas no molde para que a cura procedesse (24 horas) e em seguida foram desenformadas e testadas com relação as características físicas e mecânicas.

O ensaio de flexão foi realizado em uma máquina universal de ensaios Autograph AG-X 10kN da marca Shimadzu. O ensaio foi de dobramento em três pontos, na velocidade de 2mm/min.

A análise por microscopia óptica foi conduzida em um microscópio Fortel com sistema de aquisição de imagens Kontrol Modelo M713.

A dureza dos materiais foi determinada por meio da utilização de um microdurômetro Shimadzu Modelo HMV 2T. Foram realizados 10 testes em cada amostra, com carga de 200kgf e tempo de aplicação da carga de 15s, de forma a avaliar de maneira geral a estrutura das amostras.

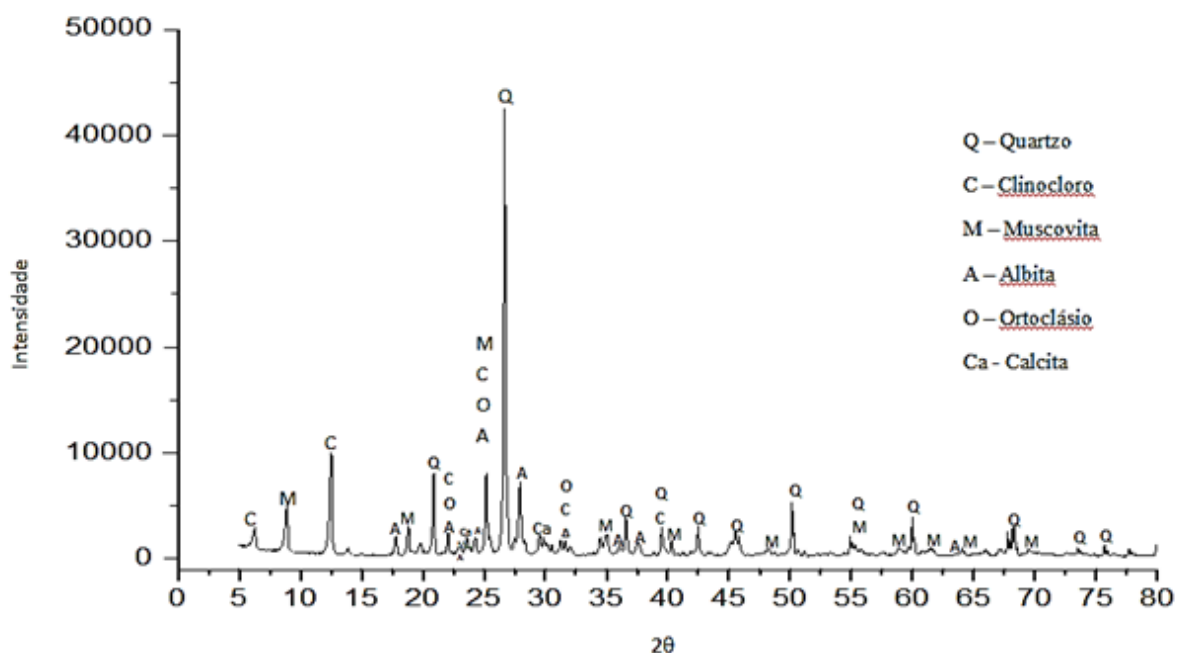
Para a medição da porosidade, densidade aparente e absorção de água, foi utilizada a norma ASTM C373-88 (Método de teste padrão para absorção de água, densidade volumétrica, porosidade aparente e densidade específica aparente de produtos brancos queimados), que descreve o método de Arquimedes e sua adequação matemática.

## 3. RESULTADOS E ANÁLISES

A figura 1 mostra o difratograma do pó de ardósia estudado, confirmando a presença de materiais cristalinos. A composição mineralógica da ardósia varia com a sua procedência. Entretanto, de modo geral, percebe-se a presença dos filossilicatos e do quartzo. Os demais minerais, tais como a calcita, não aparecem de modo destacado no difratograma. Os principais minerais identificados foram: Quartzo (Q): mineral duro composto de SiO<sub>2</sub> cristalina; Clinocloro (C): 5MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O - hidróxido silicato de magnésio, ferro e alumínio, pertencente ao grupo das cloritas, responsável pela cor verde das ardósias; Muscovita (M): K<sub>2</sub>O.2MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.8SiO<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O - hidróxido silicato potássico aluminoso pertencente a classe das micas e principal determinante da clivagem da ardósia. Albita (A) e ortoclásio (O): Na<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub> e KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, respectivamente - silicatos pertencentes a série dos feldspatos.

Estudos de outros autores indicam a similaridade com os resultados aqui observados quanto à presença das fases nessas amostras (Campos, et al, 2004; Cambronero, et al, 2005; Palhares, et al, 2006; Frias, et al, 2014).

Os resultados dos testes de flexão em três pontos encontram-se na Tabela 1. Pode-se notar que a incorporação das partículas de ardósia em matriz de poliestireno resultou em um aumento da resistência a flexão dos compósitos produzidos. O fato da presença da ardósia ter influenciado na resistência do compósito, realça a sua capacidade de não deteriorar as propriedades mecânicas em relação ao polímero puro. As interações entre as partículas de ardósia e poliestireno foram suficientemente elevadas para permitir um aumento da resistência mecânica do polímero, aparentemente sem deterioração das propriedades do material. Os resultados de microdureza na tabela 2 corroboram com os dados obtidos pelo ensaio de flexão.



**Figura 1. Difratoograma de raios-X do pó de ardósia.**

**Tabela 1. Valores de Resistência a Flexão obtidos para cada formulação**

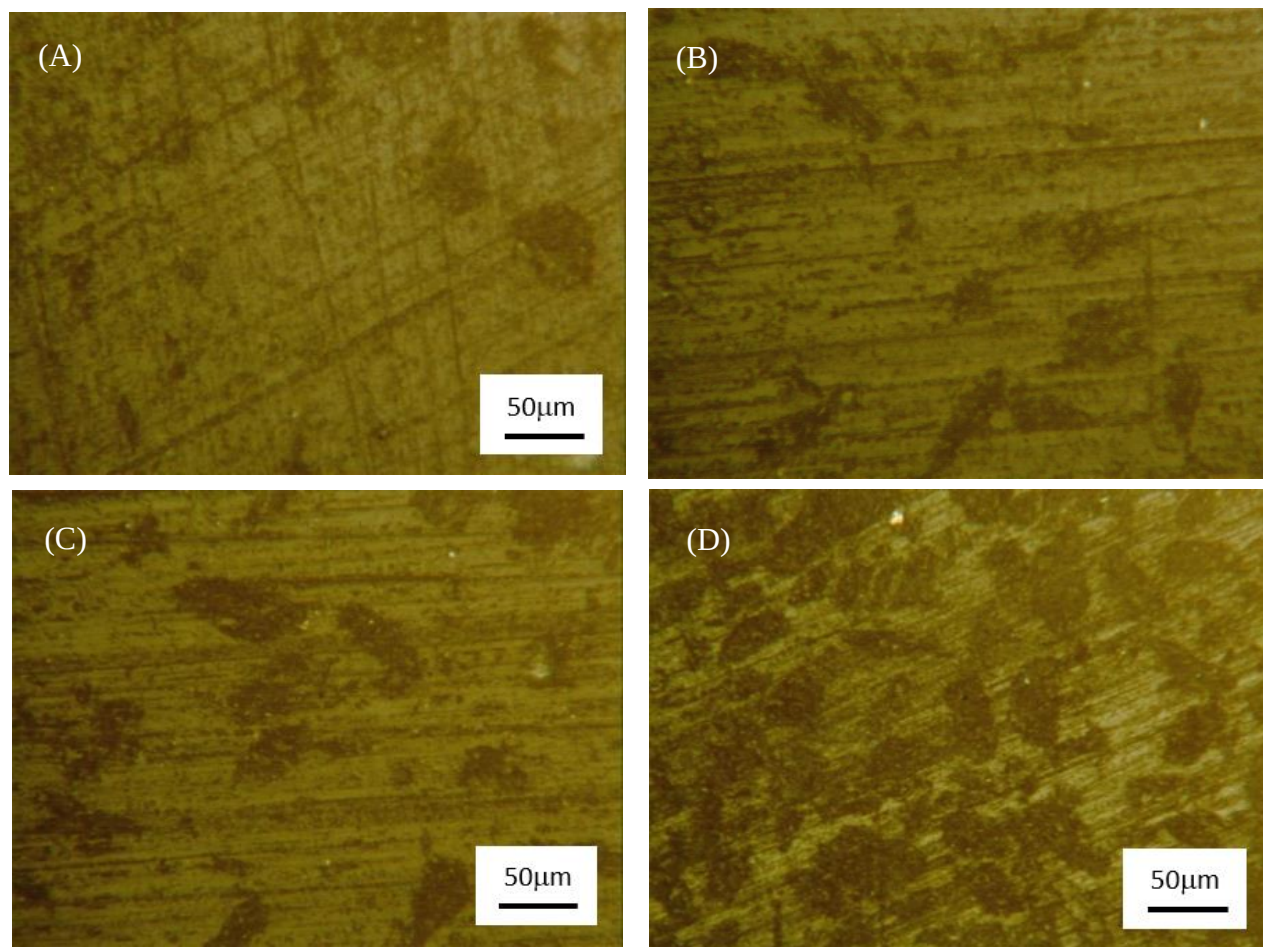
| Formulação (% ardósia) | Resistência Flexão (MPa) |
|------------------------|--------------------------|
| 10                     | 5,9                      |
| 30                     | 7,4                      |
| 50                     | 8,5                      |
| 70                     | 10,6                     |

**Tabela 2. Valores de Dureza Vickers obtidos para cada formulação**

| Formulação (% ardósia) | Dureza Vickers (HV) |
|------------------------|---------------------|
| 10                     | 17,8 ± 1,0          |
| 30                     | 21,5 ± 1,5          |
| 50                     | 27,7 ± 2,7          |
| 70                     | 32,4 ± 2,4          |

A figura 2 mostra as micrografias obtidas via microscópio óptico. Nessas imagens, as regiões mais escuras referem-se à presença da ardósia, sendo observado o aumento da mesma com o acréscimo da mistura.

A ardósia pura apresenta uma resistência à compressão de 336 MPa e absorção de água menor que 1% (Palhares et al, 2016). De acordo com a Empresa Micapel Slate, fornecedora do pó, testes indicam valores de resistência para piso elevado em carga foi de 900 a 1500Kg/m<sup>2</sup> e de absorção de água menores do que 0,3% (Micapel Slate, 2017).



**Figura 2. Micrografias das amostras (A) 10% ardósia, (B) 30%, (C) 50% e (D) 70%.**

**Sugestão, coloque as figuras 2 e 3 juntas, do lado esquerdo coloque a menor ampliação e do lado direito coloque a maior ampliação, não há necessidade de criar duas figuras para expor, em tese, os mesmos resultados.**

Os valores de absorção de água, porosidade aparente e densidade encontram-se na Tabela 3. Os valores de porosidade mantiveram-se muito próximos, em aproximadamente 1%. No caso da absorção de água pelos compósitos observa-se uma pequena variação, mas os valores são bem baixos quando comparados aos valores típicos de compósitos cimentícios comprovando a que a rocha artificial pode ser utilizada como material de revestimento.

**Tabela 3. Porosidade, absorção de água e densidade para cada formulação**

| Formulações | Porosidade aparente (%) | Absorção de Água (%) | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 10          | 1,01 ± 0,24             | 0,74 ± 0             | 1.43 ± 0                       |
| 30          | 1,09 ± 0.27             | 0,95 ± 0             | 1.46 ± 0,01                    |
| 50          | 1,07 ± 0.23             | 0,63 ± 0,01          | 1.69 ± 0,01                    |
| 70          | 1,04 ± 0.22             | 0,62 ± 0             | 1.84 ± 0,04                    |

Os resultados indicam que o aumento da quantidade de ardósia ocasiona o acréscimo da densidade do compósito, tendendo para valores mais próximos à densidade da rocha natural que é de aproximadamente 2,7 g/cm<sup>3</sup> (Palhares, et.al, 2013). Esses dados permitem atestar ainda que, sendo necessário, pode-se avaliar a produção de um compósito mais leve que poderia diminuir os custos de transporte e facilitar a sua aplicação.

## 4. CONCLUSÕES

A utilização dos rejeitos de ardósia para incorporação em matriz polimérica e produção de rocha artificial como forma de reaproveitamento dos resíduos mostrou-se viável como forma de minimizar o efeito danoso destes resíduos no meio ambiente, além de permitir a produção de sistemas que apresentam coloração próxima daquela exibida pela rocha original (ardósia) e baixo custo.

A rocha artificial (compósito resina/ardósia) produzida apresentou propriedades que possibilitam sua utilização para diversas aplicações como pisos, paredes e decoração.

Devido à baixa porosidade e absorção de água, a rocha artificial apresentada neste trabalho, a princípio, para a produção de placas para pisos e revestimentos.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS. Panorama mundial do setor de rochas. 2014. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve\\_id=3342](http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3342)>. Acessado em: 04/10/2016.
- Barreiros, F.M.; Vieira, M.T., 2002, "Powder Injection Moulding to Recover Slate Wastes", Key Engineering Materials, vol. 230-232, pp. 247-250.
- Cambronero, L.; Ruiz-Roman, J.M.; Prieto, J.M.R., 2005, "Obtención de espumas a partir de resíduos de pizarra", Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, vol. 44 (6), p.368-372.
- Campos, M.; Velasco, F.; Martínez, M.A., Torralba, J.M., 2004 "Recovered slate waste as raw material for manufacturing sintered structural tiles", Journal of the European Ceramic Society, vol. 24, p. 811-819.
- Carvalho, G. M. X.; Mansur, H.S.; Vasconcelos, W. L.; Oréfice, R. L. , 20017, "Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno. Polímeros", vol.17 n°.2. São Carlos.
- Catarino, L., Sousa, J., Martins, I.M., Vieira, M.T., Oliveira, M.M., 2003, "Ceramic Products Obtained from Rock Wastes. Journal of Materials Processing Technology", Vol.143-144, pp.843-845.
- Chiodi, D. Filho CHIODI, C. Plano de ação para sustentabilidade do setor de rochas ornamentais – Ardósia em Papagaios. Fundação Estadual do Meio Ambiente, volume único, 306 p., 2014.
- Cunha, J.P. Desenvolvimento de um novo material a partir da composição dos resíduos da mineração de varvito e da produção de cal. 2007. 94p. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia, PIPE, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro, 2010. Disponível em: [http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2010/MG\\_2010.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2010/MG_2010.pdf). Acessado em 06/09/2016.
- Frias, M. Vigil de la Villa, R.; García, R.; Soto, I.; Medina, C.; Sánchez de Rojas, M.I., 2014, "Scientific and technical aspects of blended cement matrices containing activated slate wastes" Cement & Concrete Composites, Vol. 48, pp.19-2.
- Lee, M.Y.; Ko, C.H.; Chang, F.C.; Lin, J.D.; Shan, M.Y.; Lee, J.C., 2008, "Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction", Cement & Concrete Composites, Vol.30, pp.583-587.
- Micapel Slate. Disponível em: <http://www.micapel.com.br/>. Acessado em; 22/05/2017.
- Oliveira, M.C. et al. Ardósia como Matéria Prima para Cerâmica. In: 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro, 2000. Anais do 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica, p.7401-7408.
- Palhares, L.B.; Gontijo, A.A.B; Galvão, D.F.; Fernandes, L.S.R.; dos Santos, C.G.; Guadanini, A.T.G, Oliveira, L.B.de, 2016, "Produção de um Compósito Resina/Rocha Ornamental com Pó de Ardósia Proveniente de Rejeitos", Anais do 60 Congresso Brasileiro de Cerâmica, vol. Único, Águas de Lindóia, SP, pp.2213-2223.
- Palhares, L. B. et al., 2013, "Microstructure evaluation of slate pieces submitted to heat treatment at different temperatures", In: WORLD CHEMISTRY CONGRESS, vol. 44., Turkey. Anais... Turkey, pp. 490 - 496.
- Palhares, L. B. et al., 2006, "Study of pore size distribution of slate ceramic pieces produced by slip casting of waste powders" Minerals Engineering, vol. 19 (5), pp.525-527.



## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF A COMPOSITE RESIN/SLATE POWDER WASTE

Luciana Boaventura Palhares<sup>1</sup>, [lbpalhares@hotmail.com](mailto:lbpalhares@hotmail.com)  
Elaine Carballo Siqueira Correa<sup>1</sup>, [elaine@deii.cefetmg.br](mailto:elaine@deii.cefetmg.br)  
Wellington Lopes<sup>1</sup>, [wellingtonlopes@deii.cefetmg.br](mailto:wellingtonlopes@deii.cefetmg.br)  
Castro, G.H., [guilherme\\_hoffman@hotmail.com](mailto:guilherme_hoffman@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Thais Santos<sup>1</sup>, [thaissilva.eng@gmail.com](mailto:thaissilva.eng@gmail.com)  
Jaqueline Santana Saab<sup>1</sup>, [jsantanasaab@hotmail.com](mailto:jsantanasaab@hotmail.com)  
Claudio Gouvêa dos Santos<sup>2</sup>, [claudio@iceb.ufop.br](mailto:claudio@iceb.ufop.br)

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

<sup>2</sup>Universidade Federal de Ouro Preto

**Abstract.** The production of artificial stone with slate waste, generated in its extraction and cutting, is a production process of a composite resin / load insertion. The waste in the form of a sludge composed mainly of water, lubricants and crushed rock used here, has a particle size below 2 mm, accumulates in yards, reservoirs and streams, affecting the environment in areas of extraction, particularly in Minas Gerais. The Minas Gerais State (Brazil) responds to about 95% by Brazilian slate production and generates an average of 1,8x10<sup>5</sup> tons of waste per year. The production of alternative materials having the waste generated in the manufacturing industries of rocks as constituents can reduce or even eliminate pollution in the extraction areas, apart from promoting the emergence of new opportunities for jobs and income essential to the progress and development of the country. The production of artificial stone with similar properties to natural rock involves the use of a mixture containing up to 75% of the slate powder and resin (polyester / epoxy / ecological). The components are mixed, deposited in mold cavity, subjected to vibration and pressed with the application of loads up to 40 KN. After 24 hours the composite can be removed for physical and mechanical characterization and use as floors, tiles or decoration. Initial tests have shown strength values between 5 and 11 MPa and water absorption less than 1%.

**Keywords:** Slate power waste, Composite, Characterization