

## DESEMPENHO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE SERRARIAS PARA A UTILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA NA OBTENÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PARA APLICAÇÕES EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

*N.O. Santiago<sup>1</sup>; D.F. Oliveira<sup>2</sup>; A. A. Sousa<sup>3</sup>; C. Muniz<sup>1</sup>; M. D. Sousa<sup>1</sup>*

**RESUMO** - Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais e de serrarias para a utilização como matéria-prima na obtenção de tijolos ecológicos para aplicações em edificações de interesse social. Foram confeccionados tijolos utilizando o traço 1:9 em proporção de cimento : solo, e utilizado os resíduos nas proporções de 10, 20 e 30 % de resíduo granítico variando com 30, 40 e 50 % de resíduo caulínico moído para períodos de cura de 7 e 28 dias avaliando a atividade pozzolânica por ensaios de resistência à compressão simples. Diminuindo assim o impacto ambiental que é causado quando lançados ao ar livre prejudicando a vegetação, a vida animal presente no local, à estética e principalmente a saúde de moradores próximos dessa região. Direcionando a utilização desses rejeitos para fabricação de tijolos solo-cimento na construção de habitações.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos; atividade pozzolânica; tijolos solo-cimento.

**ABSTRACT** - This study aimed to evaluate the performance of waste from the processing of ornamental rocks and sawmills for use as raw material in obtaining ecological bricks for applications in buildings of social interest. Bricks were made using the 1:9 ratio of cement: soil and waste used in the proportions of 10, 20 and 30 % granite ranging residue with 30, 40 and 50 % ground kaolin residue to curing periods of 7 and 28 days evaluating pozzolan activity by strength tests of simple compression. Thereby reducing the environmental impact that is caused when thrown into the air damaging vegetation, animal life, and especially the health of residents near that region. Directing the use of such waste for the manufacture of soil-cement bricks for use in residential constructions.

**Keywords:** Solid waste; pozzolan activity; soil-cement bricks.

---

<sup>1</sup>Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba. Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, Campina Grande, PB, 58109- 753. e-mail: nathy.sathiago@hotmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba. Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, , Campina Grande, PB , 58109- 753: djaneufcg@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba. Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, CEP 58109- 753, Campina Grande/PB: [aauepb@gmail.com](mailto:aauepb@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

A preservação ambiental está em aceitação no mundo inteiro não só na teoria, mas também na prática, o mercado de trabalho hoje necessita de novas e boas ideias principalmente voltadas ao meio ambiente, sendo assim o maior compromisso da sociedade. As atividades de mineração e processamento mineral já lucraram durante muitos anos extraindo matérias primas de lavouras modificando relevos e alterando a natureza dessas regiões.

A reciclagem de resíduos é umas das maneiras de se diversificar a oferta de matéria prima para se utilizar como materiais para construção civil viabilizando a redução de preço na qual pode ser um grande incentivo para a competitividade no comércio. Assim essa reciclagem de resíduos contribui para preservação ambiental e para o aperfeiçoamento de política social (John, 2000).

Os resíduos de granito e caulim utilizam apenas de alguns ou mesmo nenhum processo de tratamento para se eliminar e até reduzir seus constituintes presentes. Tem-se considerado uma ótima alternativa a incorporação desses rejeitos na fabricação de tijolos ecológicos de solo-cimento pelo baixo custo e principalmente por evitar a degradação causada ao ambiente.

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi avaliar o desempenho dos resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais e de serrarias para a utilização como matéria-prima na obtenção de tijolos ecológicos para aplicações em edificações de interesse social.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A abordagem ambiental mais recente, objetiva exatamente o desenvolvimento sustentável, com a minimização do descarte dos materiais, enfatizando que no século XXI, o gerenciamento dos resíduos é uma das questões mais importantes tanto para a saúde pública como para o desenvolvimento industrial.

A disposição dos resíduos no beneficiamento de granito e na mineração do caulim nos municípios dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, atualmente tem um volume bastante significativo. A produção de tijolos recicláveis tem sido favorável nesse aspecto, tendo em vista a escassez de recursos naturais. Minimizando os custos das habitações e solucionando parte dos problemas gerados pelo beneficiamento dessas rochas e mineração do caulim.

### 2.1. Rochas Ornamentais

Rocha ornamental é definida como sendo um material rochoso natural, submetido a diferentes graus de aperfeiçoamento (apicoado, frameado, polido e recortado), e utilizado para exercer uma função estética. São largamente utilizadas na construção civil em revestimentos internos e externos de paredes, pisos, soleiras, na fabricação de móveis, na arte funerária e em outras diversas aplicações (Queiroz *et al*, 2008).

As rochas ornamentais podem ser classificadas de acordo com sua comercialização. Então as rochas podem ser ornamentais e semiornamentais divididas em mármore, granitos, ardósias e em alguns lugares são citadas também os basaltos (Vargas *et al*, 2012).

O setor de rochas ornamentais vem crescendo a cada ano devido à quantidade de rochas que são exportadas. Em 2006 a produção Brasileira de rochas ultrapassou 7,5 milhões de toneladas. Em 2007 a produção chegou a 7,9 milhões, ou seja, um crescimento de 6 % (Abirochas, 2007).

A forma de armazenar e condicionar os resíduos industriais de significativo impacto ambiental na atividade pode ser apresentado na Figura 1 que detalha o armazenamento e descarte do resíduo de rochas ornamentais (lama abrasiva).



Figura 1 - Lama abrasiva desidratada armazenada num terreno monitorado pela indústria analisada.  
Fonte: Própria (2012).

## 2.2. Resíduo de Caulim

O caulim é uma argila constituída principalmente por caulinita e/ou haloisita, que queima com cores branca ou clara a 1250 °C. Dois tipos de caulim são comumente considerados para aplicação tecnológica: os residuais e os sedimentares. É de conhecimento geral que os caulins apresentem juntamente com seu argilomineral constituinte. O caulim como minério ou “mineral industrial” tem muitos usos devido a sua cor e, após a queima, baixa granulometria natural, pouca abrasividade, estabilidade química, forma específica das partículas do argilomineral constituinte, além das propriedades reológicas específicas adequadas em diferentes meios de fluídos.

A indústria de beneficiamento de caulim gera resíduos que dependendo da sua composição e quantidade, podem implicar em sérios danos ao meio ambiente. O resíduo obtido no beneficiamento de caulim é constituído essencialmente da fração não plástica da massa (quartzo e fundentes). O processo de beneficiamento de caulins primários na planície pegmatítica da Borborema tem um rendimento de 30 % do total extraído da jazida, ou seja, de cada 1 tonelada do material bruto, menos de um terço é aproveitado (Figura 2).



Figura 2 - Deposição inadequada do resíduo de caulim. Fonte: Própria (2012).

### **2.3. Tijolos Solo-Cimento ou Ecológicos**

Os tijolos de solo-cimento (Figura 3) constituem uma das alternativas para a construção de alvenaria em habitações e outras edificações. Na sua produção são utilizados os seguintes materiais: solo, cimento e água. As vantagens da utilização dos tijolos de solo-cimento vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras.



Figura 3 - Tijolos ecológicos de solo-cimento. Fonte: Própria (2012).

Os equipamentos utilizados são simples e de baixo custo. A mão-de-obra para operar a máquina de fabricação não precisa ser especializada. Sua resistência à compressão é semelhante à do tijolo convencional, mas a qualidade final é superior, possuindo dimensões regulares e faces planas.

Além das vantagens econômicas, o tijolo de solo-cimento agrada também com relação ao aspecto ecológico, pois não passa pelo processo de cozimento, no qual se consomem grandes quantidades de madeira ou de combustíveis minerais, como é o caso dos tijolos produzidos em cerâmicas e olarias.

## 2.4. Atividade Pozolânica

Entende-se por atividade pozolânica como a capacidade que uma determinada pozolana tem em reagir com o hidróxido de cálcio, isto é, quanto maior o valor do hidróxido de cálcio consumido pela pozolana, maior sua atividade. Essa reação se processa da seguinte forma: durante as reações de hidratação do  $C_2S$  e  $C_3S$  ocorre a formação do  $Ca(OH)_2$ .

A sílica existente nas pozolanas reage com o  $Ca(OH)_2$ , formando os silicatos de cálcio hidratados (CSH) que tem menor reação  $CaO/SiO_2$ , formando produtos de menor basicidade do que os produzidos pela hidratação dos silicatos de cálcio do cimento e, portanto, são mais estáveis quimicamente. Essa reação é geralmente lenta podendo levar meses para ser completada, entretanto, quanto mais vítrea e mais fina for a pozolana, mais rápida será a reação com a cal bem como a taxa de liberação de calor e o desenvolvimento da resistência são lentos (Nita e John, 2007).



A atividade pozolânica de um material pode ser determinada de várias maneiras, através da avaliação da resistência mecânica, visto que a análise química não é suficiente para tal fim, embora seja útil no controle qualitativo das pozolanas. As propriedades exigidas das pozolanas para um determinado propósito são prescritas pela ASTM 618 (2006) e ABNT 12653 (2006).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Materiais

#### 3.1.1 Resíduo de Rochas Ornamentais (RG)

O resíduo de granito gerado pelo beneficiamento de rochas ornamentais foi gerado em uma empresa localizada em uma cidade do interior do Estado da Paraíba.

#### 3.1.2 Resíduo de Caulim (RC)

O resíduo de caulim encontra-se em depósito a céu aberto de uma empresa situada no interior Paraibano.

#### 3.1.3 Solo

Foi utilizado um solo argiloso proveniente de um Município da Paraíba.

#### 3.1.4 Água

Foi utilizada água potável, fornecida pela concessionária local (Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA), para o sistema de abastecimento da cidade.

#### 3.1.5 Cimento

O cimento que foi utilizado neste trabalho de pesquisa segue os parâmetros das normas da ABNT NBR 5732/91, NBR 5733/91, NBR 5735/91 e NBR 5736/91, tipo CP II-F-32 da marca CIMPOR.

## **3.2. Métodos**

### **3.2.1 Beneficiamento dos Materiais**

O resíduo de rochas ornamentais passou por processo de separação de materiais indesejáveis, para esse estudo foi seco em uma estufa com temperatura de 110 °C por 24 horas, logo depois de coletado e seco foi passado no moinho de bolas para desmanche dos torrões e coletado o material para análises de caracterização.

O resíduo de caulim foi triturado em moinho de galga para diminuir o tamanho dos grãos de maior proporção. Não foi suficiente o moinho de bolas, pois o resíduo de caulim tem a presença de partículas muito resistentes como quartzo e feldspato. Após a trituração esse material foi passado em peneira n° 200 (0,074 mm), para serem submetidos aos ensaios de caracterização.

### **3.2.2 Caracterização dos Materiais**

Análise Química - A técnica utilizada para obtenção da análise química foi à espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), em equipamento EDX 700 da marca Shimadzu. Para serem submetidas a esse ensaio as amostras de solo, cimento e resíduo de demolição foram passados em peneira ABNT n° 200 (0,074mm).

### **3.2.3 Moldagem e Cura dos Tijolos Ecológicos de Solo-Cimento**

Os tijolos ecológicos de solo-cimento-resíduo de rochas ornamentais/caulim com dimensões 0,25 m de comprimento x 0,07 m de altura e 0,125 m de largura foram moldados em uma prensa modular SAHARA de acordo com a norma ABNT NBR 10832/89.

Foram confeccionados tijolos com incorporação de 10, 20, e 30 % de resíduo de rochas ornamentais (RG) e de resíduo de caulim (RC) com 30, 40, e 50 % em substituição a parte do aglomerante (cimento) e o solo. O traço utilizado para a confecção desses tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduo de rochas ornamentais/caulim foi de 1:9.

### **3.2.4 Ensaios Tecnológicos**

Resistência a Compressão Simples - A Resistência a Compressão Simples foi determinada segundo a norma ABNT NBR 10836/94. A norma vigente determina que a resistência média dos tijolos de solo cimento deve ser igual ou superior a 2,0 MPa aos 7 (sete) dias de cura.

Nos ensaios de resistência primeiramente, serraram-se os tijolos ao meio para garantir uma maior simetria, logo após foram capeados com espátulas favorecendo superfícies planas e uma maior estabilidade. As duas metades do mesmo tijolo foram sobrepostas e colocadas na prensa de modo que o centro de gravidade estivesse no eixo de carga da prensa manual.

Atividade Pozolânica - As propriedades exigidas das pozolanas para um determinado propósito são prescritas pela ASTM 618 (1991) e ABNT 12653 (1992). Para pozolanas são necessárias as seguintes propriedades: um conteúdo mínimo de 70 % de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, um máximo conteúdo de 5 % de SO<sub>3</sub>, uma máxima perda ao fogo de 12 %, e um conteúdo máximo de álcalis (expresso como Na<sub>2</sub>O) de 15% (Castro, 2008).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Caracterizações dos Materiais**

As análises químicas do resíduo de rochas ornamentais e de caulim foram realizadas no Laboratório de Caracterização dos Materiais – UFCG e estão representadas na Tabela I.

Tabela I - Composição química do resíduo de rochas ornamentais e do resíduo de caulim.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Outros óxidos
<b>RG</b>	59,56 %	16,46 %	2,82 %	4,16 %	6,58 %	6,14%	2,32%	1,96%
<b>RC</b>	59,31 %	36,33 %	2,31 %	1,64 %	0,25 %	-	-	<5

Fonte: Laboratório de Caracterização dos Materiais – UFCG

Como apresenta a Tabela I, o resíduo de rochas ornamentais possui um teor considerável de alumina (16,46 %) e óxido de ferro (6,68 %). Como se verifica o resíduo de caulim compõe-se principalmente de sílica (59,31 %), alumina (36,33 %) e outros componentes, caracterizando-se como um típico material reativo e de características pozolânicas, ambos atendendo os requisitos necessários para tal classificação. Os valores de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> superarão o valor mínimo de 70 % exigido pela ASTM C618 (2005) indicando assim que os resíduos estudados têm provavelmente atividade pozolânica.

#### 4.2 Ensaios Tecnológicos

A Figura 4 apresenta os valores em leitura gráfica para a RCS dos tijolos fabricados com resíduo de rochas ornamentais e resíduo de caulim.

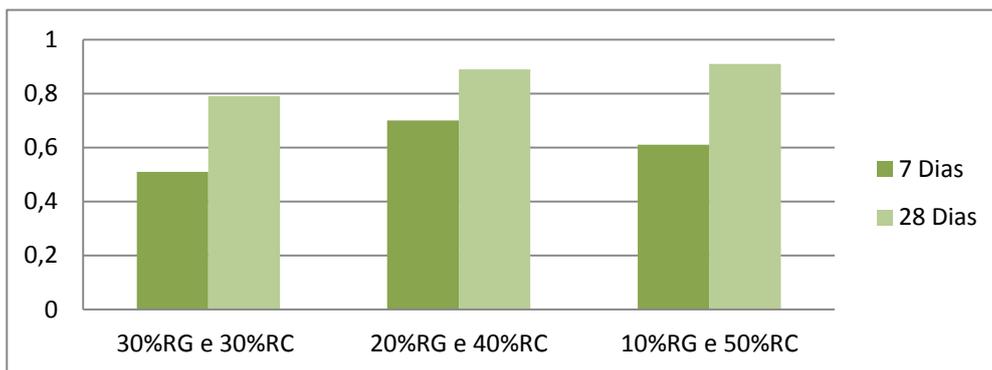


Figura 4 - Resistência à Compressão Simples os tijolos fabricados com resíduo de rochas ornamentais e resíduo de caulim. Fonte: Própria (2012).

Na Figura 4 verifica-se que os resultados de RCS dos tijolos ecológicos de solo-cimento determinados com o resíduo de rochas ornamentais/caulim beneficiado obtiveram valores não muito satisfatórios, abaixo do que determina a norma NBR 10836/94 que fixa esses valores maiores ou igual a 2,0 MPa. A composição destaque foi de 10 % RG e 50 % RC com valor de 0,91 MPa. Isso aconteceu, provavelmente, pelo fato do resíduo de caulim apresentar uma granulometria mais específica, aumentando sua resistência pela aderência mais favorecida dos grãos, para confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento, incorporado com resíduo de rochas ornamentais/caulim.

A Tabela II apresenta os valores de RCS dos tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos de rochas ornamentais/caulim para o estudo da atividade pozolânica.

Tabela II - Índice de atividade pozolânica

Composições	7 Dias	28 Dias
30%RG e 30%RC	0,51	0,79
20%RG + 40%RC	0,70	0,89
10%RG + 50%RC	0,61	0,91

Fonte: Própria (2012).

Analisando os resultados da Tabela II, verifica-se que os tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos de rochas ornamentais/caulim com incorporação de 10 % resíduo de rochas ornamentais e 50 % resíduo de caulim apresentam maiores graus de pozolanicidade para todos os períodos de cura. Os tijolos incorporados com 30 % resíduo de rochas ornamentais e 30 % de resíduo caulim demonstraram baixa atividade pozolânica.

## 5. CONCLUSÕES

O resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais é constituído de elevados teores de  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$ , sendo classificado como sílico-aluminoso. O resíduo de caulim é constituído por caulinita, quartzo e mica, apresenta larga distribuição granulométrica e composição química de acordo com os requisitos pela norma da ABNT. Somando para o resíduo de rochas ornamentais temos um valor de 82,60 % e para o resíduo de caulim 95,86 % mostrando superiores a 70 % o que, segundo a norma ABNT NBR 12653/92 e ASTM C 618 (1981), é favorável à atividade pozolânica.

Os tijolos moldados com o caulim moído apresentaram uma melhor aderência, tendo influência na atividade pozolânica pela menor granulometria e maior área de contato entre os grãos aumentando sua resistência, a composição de 10 % RGs + 50 % RC se destacou com o melhor traço para o ensaio de Resistência à Compressão Simples, mas não superaram o esperado pelo trabalho de pesquisa tendo como maior valor 0,91MPa.

Dessa maneira, conclui-se que para a utilização do resíduo de rochas ornamentais e caulim em tijolos ecológicos de solo-cimento, configura-se numa excelente opção, considerando que os mesmos são lançados indevidamente no ambiente, prejudicando a saúde de moradores, a vida animal e vegetal presentes no local, conseqüentemente gerando evidentes impactos ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS

ABIROCHAS. 2007. Balanço das Exportações e Importações de Rochas Ornamentais em 2007. São Paulo, SP, abirochas, 2008. Disponível em [http://www.ivolution.com.br/retrospectiva\\_2007.pdf](http://www.ivolution.com.br/retrospectiva_2007.pdf). Acesso: 30 de março de 2012.

ASTM – American Society for Testing and Materials Standard. 1998. Specification for Coal Fly Ash and Raw of Calcined Natural Pozzolans for Use as Mineral and Mixtures in Concrete, c-618.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 12653. 2006. Materiais Pozolânicos – Exigências Químicas e Físicas.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10832. 1992. Fabricação de Tijolo Maciço de Solo-cimento com Utilização de Prensa Manual. Rio de Janeiro, RJ, 8 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10836. 1994. Bloco Vazado de Solo-cimento sem Função Estrutural – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2p.

Castro, W. A. de M. 2008. Incorporação de Resíduos de Caulim em Argamassas para Uso na Construção Civil. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – UFCG, Campina Grande, PB, 2008.

John, V. M. 2000. Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. São Paulo, SP, Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 102p.

Lima, R. C. O. 2010. Estudo da Durabilidade de Paredes Monolíticas e Tijolos de Solo-cimento Incorporados com Resíduo de Granito. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina grande, PB, 107p.

Nita, C.; John, V. M. 2007. Materiais Pozolânicos: O Metacaulim e a Sílica Ativa. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, SP.

Queiroz, J.P.C; Caranassios, A. 2008. Petrografia Microscópica e Caracterização de Rochas Ornamentais. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicação/serie\\_anais\\_1\\_ipci-\\_2008/joedy\\_patricia.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicação/serie_anais_1_ipci-_2008/joedy_patricia.pdf) acesso em: 01 de fevereiro de 2012.

Vargas, T; Motoki, A; Neves, J. L. P. 2001. Rochas Ornamentais no Brasil, seu Modo de Ocorrência Geológica, Variedade Tipológica, Exportação Comercial e Utilidades com Materiais de Construção. Revista de Geociências, Rio de Janeiro, RJ, p. 119 – 132. Disponível em: <http://www.geocities.com/rochasornamentais/2001/itu2/itu2.pdf>. Acesso em: 01 de abril de 2012.