

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ARENITO DA SERRA DO TOMBADOR-BA NA FORMULAÇÃO DE MASSA CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

José Fernando Gonçalves, fernandosgonc@gmail.com¹

Tércio Graciano Machado, tercio@ifba.edu.br¹

Raimison Bezerra de Assis, raimison_assis@ifba.edu.br¹

Talita Fernanda Carvalho Gentil, talita.gentil@ifba.edu.br¹

Beliato Santana Campos, beliatocampos@ifba.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA - Campus Jacobina, Av. Centenário, 500, Nazaré – Jacobina/ BA, Cep 44720-000

Resumo: Na cadeia de montanhas da Serra do Tombador, podem-se estudar com vantagem os processos de sedimentação que ocorreram a mais de um bilhão de anos e a evolução tectônica e geomorfologia dessas rochas ao longo do tempo geológico. Neste contexto, a produção e o consumo de pedras ornamentais aumentaram anualmente e o Brasil está entre os maiores produtores mundiais. Durante o processamento de rochas, há uma perda significativa de material e geração de resíduos; lançados de forma inadequada na natureza. Além disso, a extração de arenito na Bahia é realizada predominantemente por pequenas empresas, gerando milhões de toneladas de resíduo mineral diminuindo a vida dos depósitos. O objetivo deste estudo é aproveitar os resíduos de arenito gerados no processo de exploração para produção de blocos cerâmicos. Neste estudo, preparamos cinco grupos de amostras com 5, 10, 15 e 20% de resíduo. As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas por Difração de Raios X (DRX) e Fluorescência de Raios X (FRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), no caso da argila utilizada. As amostras foram comprimidas em uma prensa uniaxial, sendo mantida a secagem a 100oC por 24 horas e sinterizadas a 900, 1000 e 1100°C durante 1 h, com taxa de aquecimento de 10oC/min. Após a queima foram realizados os testes de resistência à flexão em três pontos, retração linear, absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente. As formulações com 10 e 15% de resíduo apresentaram os melhores resultados, podendo utilizá-lo para a produção de blocos cerâmicos. Além disso, a adoção do uso alternativo desses resíduos diminuirá não apenas o impacto ambiental da mineração, mas também agregará valor ao produto final.

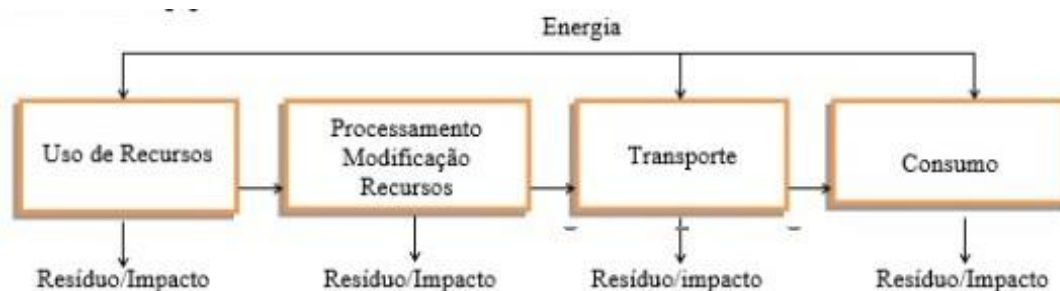
Palavras-chave: arenito, resíduo mineral, revestimento cerâmico

1. INTRODUÇÃO

A extração de minerais (pedreiras, mineração e mineração) foi estabelecida como uma atividade que, além de gerar empregos e ser uma fonte extra de renda para pequenos proprietários, especialmente em locais onde não há desenvolvimento ou perspectivas de melhoria social, é também uma atividade que causa impactos ambientais enormes, muitos deles irreversíveis.

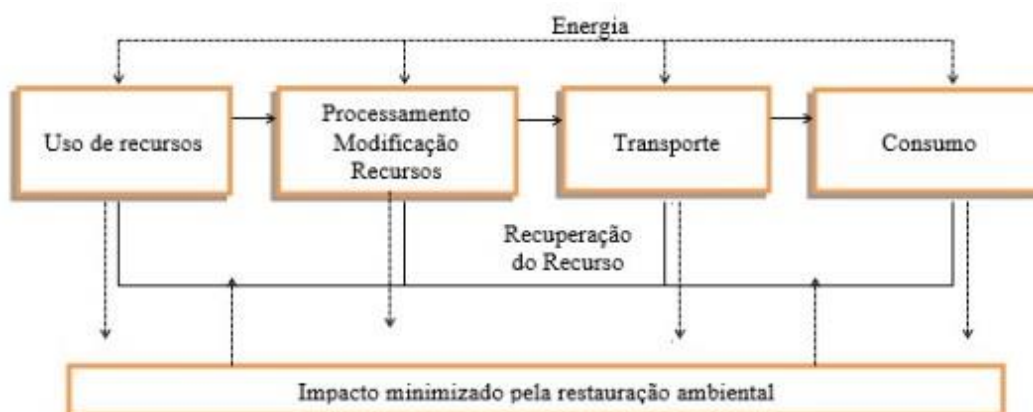
A acumulação de resíduos gerados pela atividade mineral é uma das principais preocupações da sociedade moderna, dado o enorme volume de lixo atualmente produzido. Uma das maneiras de enfrentar este problema é a reutilização dos resíduos incorporando-os em massas cerâmicas para a fabricação de produtos cerâmicos que poderão ser utilizados na Construção Civil. Estudos já demonstraram que a indústria cerâmica pode atuar como um grande aliado para consumir alguns tipos de resíduos (ABC, 2002; BRAGA, 2005; DONDI, 1997). Existem vários fatores que tornam a indústria de cerâmica atrativa para a reciclagem de resíduos, porque utiliza enormes quantidades de matérias-primas e com ampla variabilidade do ponto de vista químico e mineralógico; além disso, as técnicas de fabricação são alteradas com o uso do resíduo e a matriz cerâmica vitrificada é uma maneira segura para a inércia dos resíduos perigosos.

Segundo Braga *et al.* (2005), o modelo atual de desenvolvimento segue a abordagem linear humana, de acordo com o Fluxograma 1. Neste modelo, o crescimento contínuo observado da população é incompatível com um ambiente finito, no qual os recursos e a capacidade de absorção e reciclagem de resíduos são limitados.



Fluxograma 1. Modelo de Desenvolvimento Sustentável Humano (Fonte: Adaptado de Braga *et al.*, 2005.)

Evidentemente, o modelo com enfoque linear humano vem sendo revisto para que, com conhecimento científico e uma tomada de decisão coerente com a realidade ambiental atual, possa-se adotar a concepção de um novo modelo – Modelo de Desenvolvimento Sustentável; funcionando como um sistema fechado, conforme Fluxograma 2. (BRAGA *et al.*, 2005)



Fluxograma 2. Modelo de Desenvolvimento Sustentável Humano. (Fonte: Adaptado de Braga *et al.*, 2005.)

Conforme a ABC – Associação Brasileira de Cerâmica (2002), na cerâmica de revestimento, cuja produção está ao redor de 400 milhões de metros quadrados, é estimado um consumo ao redor de 6 milhões de toneladas por ano (tpa) de matérias-primas, compreendendo as seguintes substâncias minerais: argilas comuns fundentes (40 a 50%), argilas plásticas (15 a 20%), fundentes feldspáticos e filito (20 a 25%), outros fundentes - carbonatos, talco (5 a 10%).

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento - ANFACER, o setor de revestimentos cerâmicos do Brasil é constituído por 94 empresas, com 117 plantas industriais. Instaladas em 18 estados brasileiros, essas empresas têm sua maior concentração em São Paulo e Santa Catarina e estão em expansão na região Nordeste do país, com destaque para o Rio Grande do Norte, Pernambuco e Bahia.

Nesse contexto, a proposta deste trabalho é aproveitar os resíduos de arenito provenientes da região de Jacobina-Ba, especificamente da Serra do Tombador, gerados no processo de exploração mineral para a produção de revestimentos cerâmicos.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste trabalho foi utilizada argila do tipo montimorilonita, proveniente da cidade de Vitória da Conquista – BA/Brasil e resíduo mineral da exploração de arenito da Serra do Tombador - BA, sendo coletada *in locu*. A formulação dos compósitos cerâmicos foi preparada através da mistura a seco. Foram preparadas quatro formulações, conforme Tab. 1, sendo confeccionado um total de 36 amostras, com granulometria < 200 mesh (argila) e 60 mesh para o resíduo.

Tabela 1. Composição das amostras.

Grupo	Argila Montimorilonita (%)	Percentual de Resíduo de Arenito da Serra do Tombador - BA/Brasil (%)
E	95	5
F	90	10
L	85	15
H	80	20

Posteriormente foi realizada a compactação uniaxial em matriz metálica com pressão de compactação de 2,5 ton, sob a forma de corpos de prova cujas dimensões são 60x20x5 mm³.

Após a compactação os corpos de prova foram colocados numa estufa por um período de 24 horas, numa temperatura em torno de 100°C, para eliminação da umidade presente. Posteriormente foi realizada a sinterização, sendo subdividido as amostras em 04 (quatro) grupos, sendo constituído por 09 (nove) amostras cada grupo. As temperaturas de sinterização utilizadas foram 900°C, 1000°C e 1100°C; com uma taxa de aquecimento de 10°C/min., durante 60 minutos. O forno utilizado foi o tipo Mufla, marca JUNG - modelo 0713. Na Figura 1 temos os corpos de prova compactados e sinterizados.



Figura 1. Corpos de prova sinterizados a 900°, 1000° e 1100°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min.

O Ensaio de Absorção estabelece a relação entre a massa de líquido absorvida pelo corpo-de-prova saturado de líquido e o peso do corpo de prova seco, a fórmula utilizada é apresentada na Eq. (1):

$$AA = \frac{u_m - m_s}{m_s} \quad (1)$$

Onde:

AA = Absorção de Água

Mu = Peso do Corpo de Prova Úmido

Ms = Peso do Corpo de Prova Seco

O Ensaio de Porosidade Aparente é a relação entre o volume de poros abertos do corpo-de-prova e o volume aparente do mesmo, a fórmula da porosidade é apresentada na Eq. (2):

$$PA = \frac{\mu - m_s}{\mu - m_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PA = Porosidade Aparente

Mu = Peso do Corpo de Prova Úmido

Ms = Peso do Corpo de Prova Seco

Mi = Peso do Corpo de Prova Imerso

O Ensaio de Retração Linear é a relação entre o comprimento inicial do corpo-de-prova verde e o comprimento após a queima, a fórmula da retração linear é apresentada na Eq.(3):

$$\% \Delta Ls = \frac{L_o - L_i}{L_o} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

%ΔLs = Retração Linear

Lo = Comprimento do Corpo de Prova a Verde

Li = Comprimento Após Queima

Já o Ensaio de Flexão em Três Pontos consiste na aplicação de uma carga crescente no centro do corpo de prova, apoiado em dois pontos. A carga aplicada parte de um valor inicial igual a zero e aumenta lentamente até a ruptura do corpo de prova. Neste ensaio foi utilizada uma barra biapoiada com aplicação de carga no centro da distância entre os apoios, ou seja, existiram três pontos de carga, portanto denominando-se ensaio de flexão em três pontos. Os corpos de prova foram ensaiados em uma prensa universal de ensaios mecânicos com velocidade de carga de 0,5 mm/min.. A tensão à flexão é expressa em MPa e definido pela Eq. (4):

$$\text{MRF} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4)$$

Onde:

MRF = Resistência à flexão

P = Carga Máxima de Ruptura

L = A Distância entre os Apoios

b = Largura da Amostra

h = Altura das Amostras

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 temos a composição química dos elementos majoritários encontrados na argila utilizada neste trabalho. Os elementos como alumínio e sílica, são estruturantes do argilomineral e são encontrados em maior quantidade. O Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} são tipicamente cátions monovalentes trocáveis adsorvidos no espaçamento basal. A presença de ferro em grande quantidade (15,71%) está associada a minerais ferrosos na amostra e também a impurezas no cristal do argilomineral provenientes de substituição isomórfica. A presença de Ti e Ba, estão associadas a elementos presentes na jazida, originários da rocha geradora do argilomineral.

Tabela 2. Análise química da Argila *in natura*.

Elementos	Teórico (%)	Observado (%)	
		FRX	ICP
SiO_2	50,95	61,73	50,00
Al_2O_3	16,54	25,07	27,33
Fe_2O_3	1,36	10,69	15,71
MgO	4,65	1,98	5,48
Outros	24,24	0,53	1,48

A Figura 2 mostra o difratograma da argila *in natura* e a composição proporcional das fases cristalinas, sendo observada a presença:

- i. Montmorilonita ($\text{Ca}_{0,2}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$);
- ii. Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)

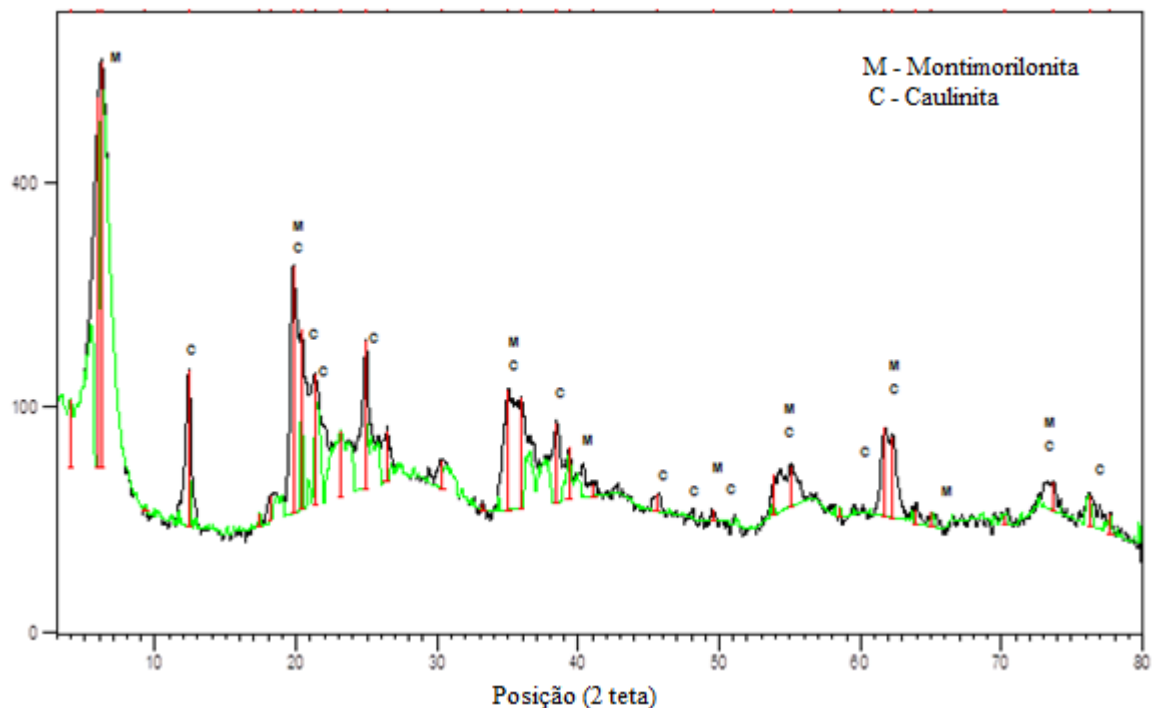


Figura 2. Difração de raios-X da argila *in natura*.

A composição mineralógica da argila *in natura* é compatível com o ambiente de deposição geológica, sendo encontradas estruturas cristalinas compatíveis com a composição química. Os elementos em menor concentração estão

associados à substituição isomórfica dos minerais e como cátions trocáveis no espaçamento basal da argila. A Figura 3 mostra a análise termogravimétrica da argila *in natura*.

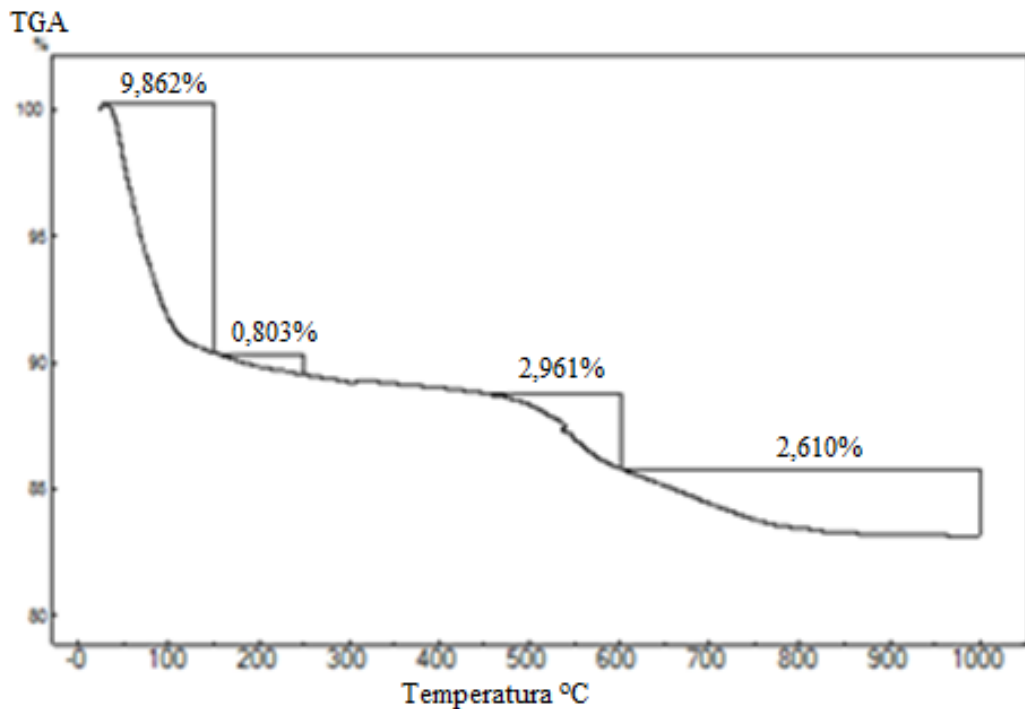


Figura 3. Análise Termogravimétrica (TG) da argila *in natura*.

Nesta análise percebemos os picos de temperatura corresponde à degradação térmica da argila *in natura*. Nesta análise é possível identificar quatro eventos térmicos, correspondendo aos picos de perda de umidade adsorvida que são observadas entre 29°C a 150°C com 9,862% da massa da amostra, entre 150°C a 250°C, correspondendo a perda de umidade intersticial, equivalente a 0,803% da massa da amostra. Um evento térmico de desidroxilação do Al e Mg da estrutura cristalina da argila é observado entre 450°C a 600°C fazendo um total de 2,961% de perda de massa. A decomposição da estrutura das fases cristalina em fase amorfa ocorre na faixa de temperatura entre 600 e 900°C com 2,610% da massa.

Na Figura 4 tem-se a microscopia eletrônica de varredura utilizada para determinar a estrutura morfológica dos aglomerados de grãos de argila.

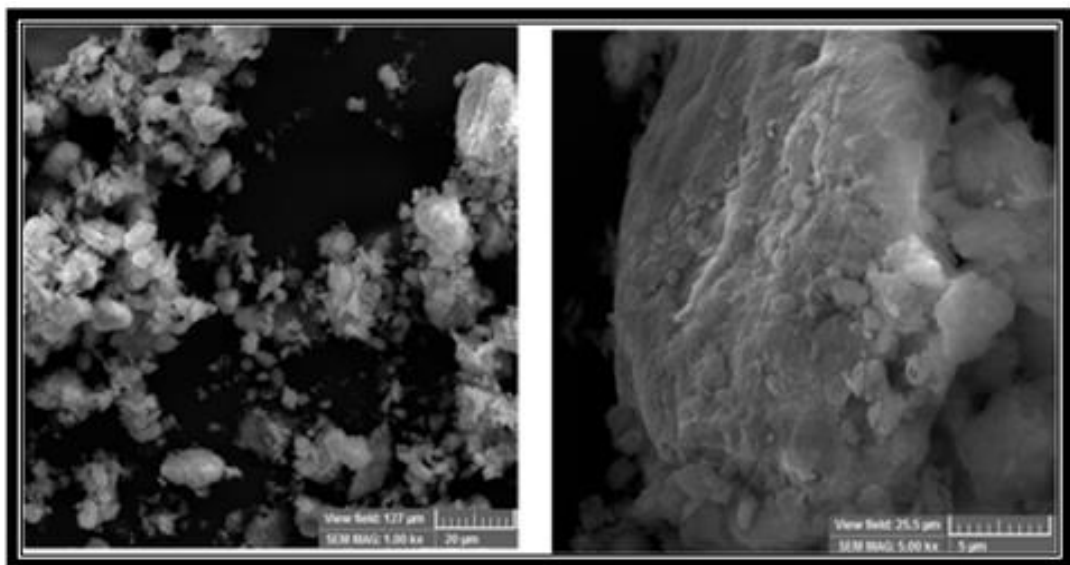


Figura 4. MEV da Argila *in natura*.

Observa-se uma estrutura regular e uniforme. A análise de área superficial BET indicou que a argila *in natura* possui área superficial de 48,33m²/g.

4. CONCLUSÃO

Adições elevadas de resíduo mineral propiciam redução na resistência mecânica do produto final e dificultam o processo de produção convencional. Entretanto, a incorporação do resíduo mineral de quartzito da Serra do Tombador em massa cerâmico apresentou resultados satisfatórios, sendo as formulações com teor de resíduo na faixa entre 10 e 16% as que apresentaram os melhores resultados. Os índices de absorção de água e porosidade aparente demonstram que é possível obter produtos como grés, semigrés e porcelanato; além de revestimentos cerâmicos porosos e semiporosos. Utilizando-se um percentual de 15% de resíduo e queimando em 1100°C obteve-se um produto com 0,85% de absorção de água, baixa retração linear e uma resistência à flexão interessante para a produção de revestimentos cerâmicos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo de pesquisa Automação, Eficiência Energética e Produção do IFBA – Campus Jacobina pelo apoio e suporte técnico no desenvolvimento deste projeto.

6. REFERÊNCIAS

- ABC – Associação Brasileira de Cerâmica, 2002, “Cerâmica do Brasil – Anuário Brasileiro de Cerâmica”, Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo.
- BRAGA, B. et al., 2005, “Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável”, Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2ª Edição.
- Dondi, M., Marsigli, M., fabbri, B., 1997, “Recycling of Industrial and Urban Waste in Brick Production – A Review”, Tile & Brick International, Vol. 13, pp. 218-225.
- Menezes, R. R., Neves, G. A., Ferreira, H. C., 2002, “O Estado da Arte sobre o Uso de Resíduos como matérias-primas cerâmicas Alternativas”, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 6, No. 2, pp. 303-313.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

USE OF WASTE FROM SANDSTONE OF THE SERRA DO TOMBADOR-BA IN THE FORMULATION OF CERAMIC MASS FOR THE PRODUCTION OF CERAMIC BLOCKS

José Fernando Gonçalves, fernandosgonc@gmail.com¹
Tércio Graciano Machado, tercio@ifba.edu.br¹
Raimison Bezerra de Assis, raimison_assis@ifba.edu.br¹
Talita Fernanda Carvalho Gentil, talita.gentil@ifba.edu.br¹
Beliato Santana Campos, beliatocampos@ifba.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA - Campus Jacobina, Av. Centenário, 500, Nazaré – Jacobina/ BA, CEP: 44720-000.

Abstract. In the chain of mountains of the Serra do Tombador, you can study with advantage the processes of sedimentation that occurred more than a billion years and the tectonic evolution and geomorphology of these rocks over geologic time. In this context, the production and consumption of ornamental stones have increased annually and Brazil is among the world's largest producers. During the processing of rocks, there is a significant loss of material and waste generation; released inappropriately in nature. In addition, the extraction of sandstone in Bahia is carried predominantly by small businesses, generating millions of tons of waste by decreasing the life of mineral deposits. The objective of this study is to take advantage of the residues of sandstone generated in the process of exploitation for the production of ceramic blocks. In this study, prepare five groups of samples with 5, 10, 15 and 20% of residue. The raw materials were characterized by X-ray diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence (FRX) and Scanning Electron Microscopy (SEM), in the case of clay used. The samples were compressed in a uniaxial press, being maintained the drying at 100°C for 24 hours and sintered at 900, 1000 and 1100°C during 1 h, with heating rate of 10°C/min. After the burning were performed the tests of resistance to flexion at three points, linear retraction, water absorption, apparent porosity and apparent density. The formulations with 10 and 15% residue presented the best results, and may use it for the production of ceramic blocks. In addition, the adoption of the alternative use of such waste will decrease not only the environmental impact of mining, but also add value to the final product.

Keywords: Sandstone, mineral residue, ceramic coating