

Desenvolvimento de blocos estruturais de baixa densidade e alta resistência a partir de rejeitos de mineração

(Development of low density and high strength structural blocks from mining waste)

C. P. Guerra¹; S. Celaschi¹; Y. E. Nagai²; A. Fabel³

¹Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer CTI
Rod. D. Pedro I, Km 143,6 Campinas SP, CEP: 13069-901

²Optron Micromecânica Óptica Ltda. Av. Santa Isabel 663, Campinas SP. CEP: 13084-012

³3S Engenharia, R. Vaiderodo Durval Duarte S.N., Palhoça SC, CEP: 88138-800

Email: christianoguerra@hotmail.com

Resumo

Amostras de cerâmica foram produzidas a partir do rejeito da mineração Samarco, com adição de caulim e pó de serra industrial. Foram realizados testes com corpos de prova para se verificar o aspecto e resistência das amostras obtidas após a etapa de queima. Foram realizados testes de resistência à compressão nos corpos de prova. Foram produzidos blocos com conformação manual e também com uso de máquina de prensagem. Este projeto de Pesquisa e Desenvolvimento visou produzir, ainda que em escala de laboratório, blocos de baixa densidade, dando uma destinação útil aos rejeitos industriais e de mineração daquela empresa. Foram utilizadas duas etapas de queima dos corpos cerâmicos, a primeira a 700 °C por 3 horas e a segunda a 1000 °C por 7 horas. As cerâmicas fabricadas apresentaram densidades variando entre 0,8 e 1,2 g/cm³ e suportaram uma tensão de compressão 6,2 Mpa.

Palavras chave: Argila expandida, Rejeitos de mineração, Blocos estruturais

Abstract

Ceramic samples were produced from the Samarco mining waste, with addition of kaolin and industrial saw powder. Tests were performed with test samples to verify the appearance and strength of the material obtained after the firing steps. Compressive strength tests were performed on those samples. Blocks were produced with manual shaping and also with a pressing machine. This Research and Development project aimed at producing an laboratory scale, low density blocks rendering a useful destination to the industrial and mining tailings. Two stages of furnace were used in ceramic samples, the first at 700 °C for 3 hours and the second at 1000 °C for 7 hours. The fabricated ceramics exhibited densities ranging from 0.8 to 1.2 g / cm³ and withstanding a compressive stress of 6.2 MPa.

Keywords: Expanded clay, Mining waste, Structural blocks

INTRODUÇÃO

As empresas mineradoras em conjunto com pesquisadores, vêm desenvolvendo nas últimas décadas, projetos de pesquisa e desenvolvimento visando o uso de rejeitos de mineração para serem incorporados em produtos para construção civil. Dentre estes produtos vale destacar a produção tijolos de rejeito-cimento [1] e de pavimentos de blocos intertravados de concreto [2]. Nesses estudos foram avaliadas as propriedades dos materiais obtidos em relação aos traços de concreto e concentração de rejeitos utilizados.

O presente trabalho se diferencia do conceito utilizado por outros grupos, por não utilizar cimento como principal elemento ligante. Foram fabricados blocos com baixa densidade e elevada resistência mecânica, valendo-se da adição de caulim e de pó de serra industrial; com isso se obtendo um material cerâmico com alta densidade de poros na estrutura. A adição de poros na estrutura tem como propósito reduzir a densidade do material cerâmico fabricado, bem como reduzir a sua condutividade térmica e acústica. A adição de caulim na massa permitiu o aumento da resistência mecânica dos blocos cerâmicos.

MOTIVAÇÃO

O aproveitamento de rejeitos industriais e de mineração vem ganhando relevância em todo o mundo, devido ao uso crescente de matérias primas nos mais variados processos industriais. Com o desenvolvimento tecnológico e aumento populacional, o acúmulo de rejeitos tornou-se uma questão chave para o crescimento sustentável. No caso da mineração de ferro, os rejeitos são armazenados na maioria das vezes em barragens. Portanto a busca por soluções que permitam a utilização destes resíduos, de forma a torna-los, de alguma forma, úteis à sociedade, torna-se imprescindível. No presente trabalho, a proposta é a de utilizá-los como matéria prima para a produção de blocos cerâmicos.

Neste projeto de desenvolvimento, realizado em conjunto com as empresas Samarco e Optron, sob contrato da Facti [3] (fundação de apoio do CTI), foram estabelecidas metas para a produção de blocos estruturais de argila expandida. Uma das metas do projeto foi a utilização, no processo de produção dos blocos, de dois tipos de rejeitos descartados na linha de produção da mineradora: Um rejeito de lama e rejeito arenoso. Testes preliminares foram feitos com tais rejeitos, utilizando-os em corpos de provas, com diferentes aditivos.

Foi priorizado o desenvolvimento do material cerâmico usando o rejeito de lama, sendo identificados aditivos que viessem a favorecer a formação de poros no material cerâmico e, ao mesmo tempo permitindo a melhoria de suas propriedades mecânicas. Foi proposto então, o

desenvolvimento de processo não automatizado de confecção de blocos estruturais de argila expandida, visando produzir um lote piloto de blocos.

Foram realizados testes de prototipagem de formas mediante conformação manual e também com utilização de uma máquina de prensagem de blocos. Foram feitos testes de laboratório para avaliar a resistência à compressão do material cerâmico obtido. O objetivo deste projeto foi desenvolver o processo de produção de blocos estruturais de argila expandida e determinar qual a importância dos fatores relacionados às matérias primas, utilizadas na fabricação dos blocos estruturais, em particular o rejeito de lama do processo da mineradora Samarco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo das matérias-primas

Como já comentado, foram fornecidos dois tipos de rejeitos pela mineração Samarco, rejeito de lama e rejeito arenoso. Os rejeitos finos ou “lamas” são geralmente gerados na etapa de deslamagem no processo de beneficiamento do minério de ferro, enquanto que os rejeitos arenosos são gerados nas etapas de flotação. Esses rejeitos, em geral, são extremamente finos, caracterizados por conter basicamente frações granulométricas correspondentes a silte e argila (com mais de 90% abaixo de 0,074 mm de diâmetro equivalente) [4] e são dispostos em barragens separadamente por apresentarem diferentes propriedades físicas e geotécnicas. Neste trabalho utilizou-se somente o rejeito de lama e sua composição química pode ser observada na tabela I.

Tabela I- Composição aproximada de rejeitos tipo A - lama do processo de beneficiamento de minério de ferro da Samarco [5].

Substância	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Perda por Calcinação
%wt	52,70	13,73	3,65	0,09	6,40

Com o objetivo de preparar o pó de rejeito de lama para a fabricação dos corpos-de-prova, o material foi colocado para secar ao sol por 48 horas. O material seco foi então triturado, por 20 minutos em moinho de teflon com as seguintes dimensões: diâmetro 200 mm e comprimento 300 mm. Foram utilizadas no moinho, oito bolas de alumina com 50 mm de diâmetro. O material processado no moinho de bolas foi colocado em um separador granulométrico com peneira de malha 1,68 mm. Na segunda etapa de separação foi usada uma peneira de malha

0,71 mm, obtendo-se um material homogêneo em pó, que foi usado na composição da massa do bloco cerâmico.

Para a formação de vazios na estrutura do material cerâmico, incorporou-se à massa, uma proporção de pó de serra industrial, resíduo de serrarias industriais. Um material uniforme foi obtido valendo-se de um separador granulométrico, com peneiras de 0,75 mm de malha. Para a dosagem do pó de serra foi utilizada a medida volumétrica, pois a incorporação de umidade no pó de serra poderia gerar variação de massa. Foi utilizado também pó de café como alternativa para a formação de vazios na estrutura. Este resíduo, de origem vegetal que é adicionado a massa, se incinera na etapa de queima do material cerâmico, deixando vazios na estrutura.

Tabela II- Proporção de materiais usados para um volume de dois litros de massa para a fabricação do bloco cerâmico.

Material	Quantidade
Resíduo A # 0,71 mm	570 g
Caulim	170 g
Pó de serra industrial # 0,75 mm	670 cm ³
Água	830 ml

A massa foi produzida com a adição de pós na proporção indicada na Tabela II. A massa foi misturada a seco, utilizando-se o moinho de teflon, com bolas de alumina por cerca de 20 minutos. A mistura de pós homogênea resultante foi colocada em um misturador. Sob agitação, adicionou-se gradualmente água à mistura com o uso de borrifador. A dosagem de água neste processo de mistura é crítica, pois seu excesso pode comprometer a obtenção da consistência ideal para o processo de conformação do bloco.

Conformação manual dos blocos

Para a conformação do bloco, foi utilizada uma forma de madeira com dimensões 120 x 240 x 65 mm, como mostrado na figura 1a. A massa foi colocada sob leve pressão para preencher toda a forma. Os blocos descansaram por 24 horas nos moldes, após a etapa de compactação manual da massa. Logo após a conformação da peça, a água fica uniformemente distribuída na massa. Inicialmente, a água, que se encontra na superfície e um pouco abaixo dela, evaporam-se. Com o passar do tempo, a água desloca-se do interior para a superfície do bloco, até se evaporar também. Pela relação área x volume, quanto maior e mais espessa for a peça moldada, mais demorado é o processo de secagem. A peça durante o processo de secagem, muda de aspecto e de cor, tornando-se mais resistente. É possível desta forma a operação de

desmoldagem da forma de madeira, sem o risco de quebra da peça, como mostrado na figura 1(b).

O procedimento de secagem é fundamental na fabricação de materiais cerâmicos. A secagem é a etapa do processo cerâmico onde a água é retirada da massa. Geralmente quando uma peça é conformada, são usadas pastas que contêm um alto teor de água. Toda a água presente na massa, tem de ser retirada da peça antes da queima. Para a água se evaporar, ela consome energia (calor), fazendo com que a temperatura do corpo cerâmico diminua. O ar na vizinhança da peça fica saturado de vapor de água, interrompendo o processo de secagem. Para a continuação do processo de secagem é necessário se fornecer calor à peça e, também, remover a umidade do ambiente. Uma forma de se fazer isto é através da circulação de ar aquecido no ambiente [6].

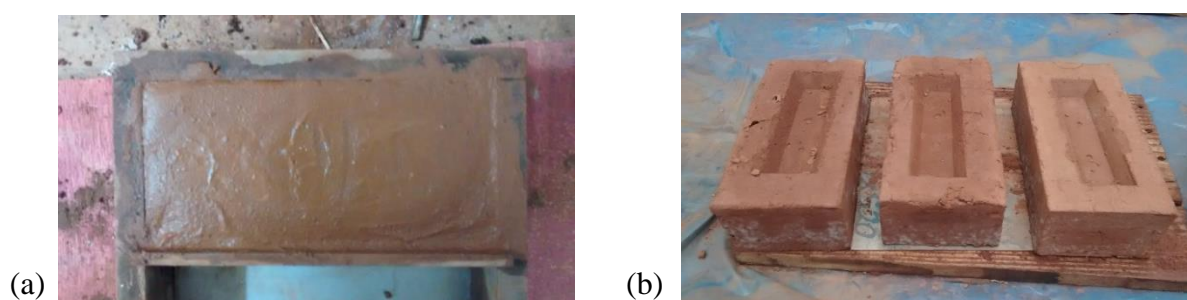


Figura1. (a)- Conformação manual dos blocos cerâmicos em forma de madeira. (b)- Blocos após serem desmoldados em processo de secagem.

Conformação por prensagem através da máquina de fabricação de blocos

Foi utilizado também, um segundo processo de conformação das peças cerâmicas, utilizando-se uma máquina de fabricação manual de blocos estruturais. Neste equipamento, a massa é prensada, dando origem aos blocos, como mostrado na figura 2(a). Para este processo, foi utilizada a mesma proporção para a mistura da massa, como indicado na Tabela II, com exceção da quantidade de água, que foi 40% menor.

Como a massa neste processo de conformação é prensada, o bloco, após ser conformado não apresentou resistência suficiente para ser removido do equipamento sem sofrer deformação. Por isso, desenvolveu-se um procedimento para acelerar a secagem do bloco, valendo-se de uma lâmpada halógena de 300W, mantida acesa por 4 horas. Este procedimento permitiu a retirada de água de uma forma mais rápida. O bloco então pode ser manipulado manualmente e retirado da forma, mostrado na figura 2(b).

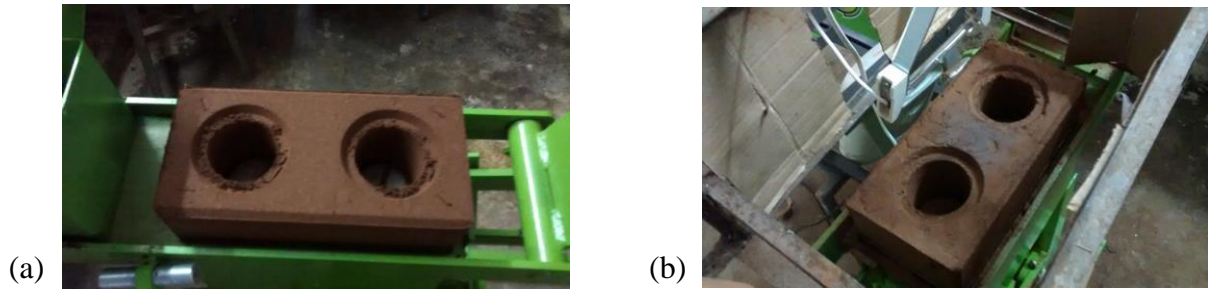


Figura 2- Fotografia das etapas de fabricação dos blocos com a utilização da máquina de prensagem manual: (a) Conformação na máquina; (b)- Processo de secagem com lâmpadas.

Tratamento térmico

Foram utilizadas duas etapas de pré-cura dos blocos cerâmicos. Na primeira etapa do tratamento térmico, os blocos, após serem desmoldados da forma, foram aquecidos em forno do tipo mufla, com temperatura de 700 °C por três horas. O processo de pré-cura possibilita que o tijolo se consolide, enquanto ocorre a eliminação da água higrométrica e também da água contida nos silicatos. Após esta etapa o bloco cerâmico pode ser manipulado com maior facilidade sem o risco de sofrer fratura. O material adquire resistência mecânica; contudo, permanece sem resistência à abrasão. No segundo tratamento térmico, os blocos permanecem no forno por 7 horas, à temperatura de 1000 °C. Os blocos atingem, após essa etapa, maior resistência mecânica e também resistência à abrasão.

Tabela III- Efeito do aquecimento em materiais com caulim [7].

Faixa de temperatura	Reação química
Abaixo de 600° C	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O$ Caulim Metacaulim
950° - 980° C	$Al_2O_3 + SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + \gamma-Al_2O_3 + SiO_2$ Mulita primária + gama alumina sílica amorfa
1200° - 1250° C	$\gamma-Al_2O_3 + SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SiO_2$ Mulita secundária + sílica amorfa

As fases cristalinas têm influência direta na resistência mecânica das cerâmicas principalmente por sua microestrutura. O surgimento de alguns sistemas cristalinos é originário da própria queima da massa cerâmica e do processo de resfriamento. A formação de mulita primária é uma consequência direta da decomposição do caulim com o aumento de temperatura.

As principais fases cristalinas de uma porcelana são o quartzo e a mulita (silicato de alumínio, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). À medida que se aumenta a quantidade de mulita cristalizada, aumenta-se a tenacidade da peça [7]. Em um corpo cerâmico, a mulita divide-se em dois tipos, a mulita primária e a mulita secundária. A mulita primária, de interesse, é um agregado de cristais de pequenas dimensões ($<0,5 \mu\text{m}$) formada na região de argila.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtenção de corpos-de-prova

Foram testados, quanto à resistência e porosidade, corpos de prova com dimensões reduzidas, para avaliação inicial das propriedades do material cerâmico formado, após as etapas de cura térmica. Estes testes foram realizados com o rejeito mineral do tipo lama vermelha com a adição de caulim e pós de serra industrial em várias proporções. Testou-se também, bloco com a adição de borra de café em vez de pós de serra industrial. Foram avaliadas a resistência e a estrutura dos poros obtidas nos corpos de prova, mostrados na figura 3.

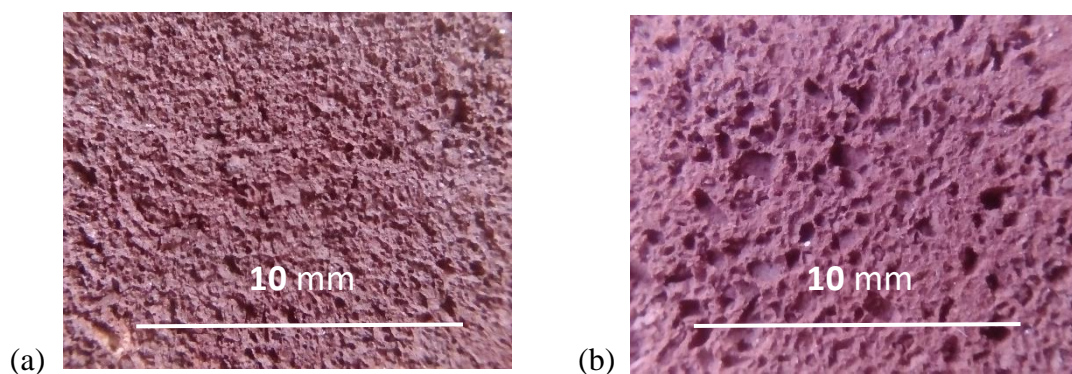


Figura 3- Macrofotografia da superfície dos corpos de prova dos testes iniciais, mostrando a estrutura dos poros de corpos de prova com a adição de (a)- pó de serra industrial e (b)- borra café.

A distribuição dos tamanhos de poros podem ser relacionados com as propriedades de vários tipos de materiais [9]. O conhecimento das características de sorção e absorção são importantes para características de durabilidade e propriedades dos materiais usados na área de construção civil [10]. Os poros presentes nas amostras produzidas permitiram a diminuição de densidade do material cerâmico produzido. As cerâmicas fabricadas apresentaram densidades variando entre $0,8$ e $1,2 \text{ g/cm}^3$. As densidades foram calculadas através da razão entre as medidas de massa e de volume das amostras.

Teste de compressão

Foi realizado teste de compressão preliminar em um dos corpos-de-prova que foram produzidos, utilizando uma máquina para ensaio de compressão, como mostrado na figura 4a. A amostra foi preparada de tal forma que as faces ficassem paralelas na região de contato com o equipamento, como mostrado na figura 4(b). Foi aplicada uma força de 2,12 toneladas, em um corpo-de-prova com área de 34,1 cm², que resultou em uma tensão de compressão de 6,2 Mpa. Esta tensão é superior ao valor de classificação de tijolos para alvenaria [11].

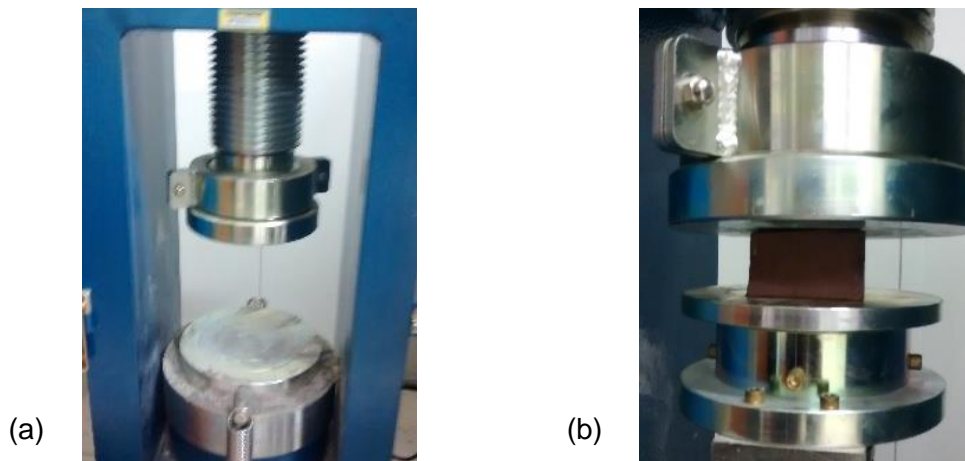


Figura 4. (a)- Máquina de ensaio de compressão. (b)- Detalhe do posicionamento da amostra para ensaio de compressão.

Obtenção dos blocos cerâmicos

Foram obtidos dois tipos de blocos, de acordo com o processo de conformação utilizado. Os blocos com conformação manual em formas de madeira mostrados na Figura 5(a) após a primeira etapa de queima e os blocos obtidos com o uso de máquina de prensagem de blocos, mostrados na Figura 5(b).

Como pode ser observado na figura 5, após a segunda etapa de queima ocorreu a formação de trincas nos blocos. A principal causa disto pode ser atribuída à falta de uniformidade de temperatura do forno utilizado, dado que as dimensões internas dele, são próximas às dimensões dos blocos cerâmicos. Isto fez com que parte do bloco tenha ficado muito próximo às resistências elétricas do forno, ocorrendo um aquecimento maior nas regiões próximas às resistências.

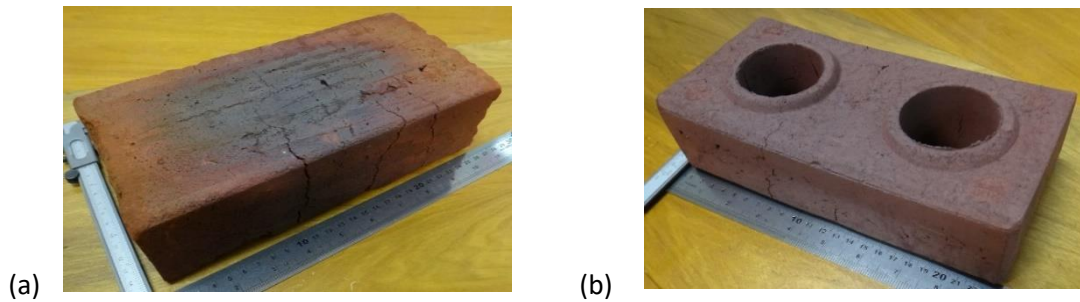


Figura 5. (a)- Fotografia dos blocos obtidos através do processo de conformação manual em forma de madeira e (b)- Bloco estrutural obtidos através do processo de conformação por prensagem manual.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, propõe-se a utilização de rejeitos de mineração para fabricação de blocos cerâmicos para construção civil. Foram estudados os fatores que influenciam as características do produto final, tais como: velocidade da queima, causa de formação de trincas e porosidade. Foram realizados testes de conformação dos blocos com o uso de processo manual e também utilizando uma máquina de prensagem de blocos. Foram utilizadas duas etapas de queima dos corpos cerâmicos, a primeira com a temperatura de 700 °C por 3 horas e a segunda com a temperatura de 1000 °C por 7 horas. Foram feitos testes de laboratório para avaliar a resistência à compressão dos corpos-de-prova. O material cerâmico obtido tem elevada resistência à compressão e baixa densidade. As cerâmicas fabricadas apresentaram densidades variando entre 0,8 e 1,2 g/cm³ e suportaram uma tensão de compressão 6,2 Mpa sem sofrer ruptura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe técnica do laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Paulista, Unidade de Jundiaí, pela realização do ensaio de compressão.

REFERÊNCIAS

- [1]- T. Esposito, et. al. Utilização de rejeito de minério para a fabricação de Tijolos de Rejeito-Cimento – TRC. Relatório Técnico, UFMG, 2011.
- [2]- A. N. L. P. Guerra, Caracterização e utilização de rejeito de minério de ferro PELLET FEED em pavimentos de blocos intertravados de concreto, Dissertação de Mestrado, UFMG, 2014.
- [3]- <https://facti.com.br/a-facti/>, consultado em 22/05/2019.
- [4]- Pereira, E. L., Estudo do Potencial de Liquefação de Rejeitos de Minério de Ferro sob Carregamento Estático, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, 2005.

- [5]- Centro de tecnologia da informação Renato Archer, Relatório Técnico Interno, Desenvolvimento de tijolos leves de alta porosidade usando rejeitos de mineração, 2015.
- [6]- Giardullo P., O processo de secagem dos objetos cerâmicos, Secagem de peças cerâmicas, <http://www.portorossi.art.br/secagem01.htm>, consultado em 17/11/2015.
- [7]- D. Schuller, E. C BianchiI, P. R. Aguiar, Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas, Cerâmica vol.54 no.332 p.435-442, 2008.
- [8]- Glass, H. D., High temperature phases from Kaolinite and halloysite, The American Mineralogist, v. 39,1954.
- [9]- Nambiar E.K., K. Ramamurthy, Air-void characterisation of foam concrete, Cement and Concrete Research 37, 2007.
- [10]- Nambiar E.K., K. Ramamurthy, Sorption characteristics of foam concrete, Cement and Concrete Research 37, 2007.
- [11]- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 7170 Tijolo maciço para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983