

## **Efeito da Adição de Vermiculita Expandida nas Propriedades Tecnológicas de Materiais Cerâmicos de Base Argilosa**

Lins, R. R. F.; Peixoto, R. S. Dutra; Macedo, D. A.; Nascimento, R. M.; Oliveira, G. V. M.

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, 59078-970 Natal, Brasil

<sup>b</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFPB, 58051-900 João Pessoa, Brasil  
*rivaldoeng.m@gmail.com*

### **Resumo**

Este estudo aborda os efeitos da adição de vermiculita expandida em blocos cerâmicos feitos de dois tipos diferentes de argilas e análise das propriedades para três composições em diferentes temperaturas de sinterização. Amostras prensadas a 40 MPa foram sinterizados entre 800 e 1100 °C. As propriedades tecnológicas foram determinadas em função da temperatura de sinterização. A avaliação das fases cristalinas e da microestrutura foi realizada por difração de raios X. Os resultados indicaram que com a adição de vermiculita expandida nos corpos de prova, houve um aumento na porosidade dos blocos em conjunto com a absorção de água, conseqüentemente uma redução na densidade aparente, como também na tensão de ruptura a flexão três pontos. Esse estudo demonstra a possibilidade da formulação de blocos cerâmicos com o intuito de melhoria nas propriedades isolantes desses materiais.

**Palavras-chave:** argila, vermiculita expandida, isolante, propriedades tecnológicas.

### **INTRODUÇÃO**

A vermiculita é um mineral formado por hidratados de alumínio e magnésio. No estado natural, esse mineral apresenta uma alternância de camadas de mica e camadas duplas de água. Possui propriedade de expandir-se rapidamente, perpendicularmente aos planos de clivagem. Quando aquecida pode aumentar em dez vezes o volume original. A vermiculita expandida apresenta baixa condutividade elétrica e quando misturada ao cimento ou ao gesso, em composições de argamassas, funciona como isolante térmico e absorvente acústico. Contudo, o efeito da adição da vermiculita a massa argilosas para fabricação de blocos cerâmicos tem sido pouco estudada, sendo este o objetivo deste trabalho. No procedimento experimental, todas as matérias primas utilizadas neste estudo foram caracterizadas com ensaios de físicos e químicos, incluindo análise térmica, análise química e composição das fases presentes. A vermiculita foi misturada a uma massa

argilosa em diferentes percentuais, e, em seguida, foram conformados corpos de provas e sinterizados em diferentes temperaturas. Ensaio tecnológicos dos produtos finais foram realizados. Pode-se concluir que a adição da vermiculita a massa argilosa proporciona um aumento da porosidade fechada do produto cerâmico, e conseqüentemente, diminui a condutividade térmica e acústica do produto.

A densidade dos materiais cerâmicos aumenta com a redução dos grãos, e conseqüentemente diminui com os tipos de granulometria, em razão da densidade aparente, materiais leves proporcionam uma redução da densidade.

O estudo tem como objetivo verificar a influência da adição de vermiculita nas propriedades de blocos cerâmicos com a finalidade de utilizar como um material de construção com função isolante, visando economia de energia e melhor conforto térmico das edificações [1, 2, 3].

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados três diferentes tipos de argilas. Uma delas procedente da indústria de cerâmica vermelha, da região de Assu - RN, denominadas argila B. Outra argila, denominada por argila C, com características de uma argila *Ball Clay*, foi procedente da região de Alhandra – PB. A vermiculita expandida, especificada pelo fabricante de “super fina” foi fornecida por uma empresa de João Pessoa – PB. A seqüência de execução do trabalho é apresentada na Figura 1.



Figura 1 - Fluxograma Experimental.

As diferentes argilas passaram por um peneiramento na malha 200 Mesh e então foram submetidas aos seguintes ensaios: fluorescência de raios X (FRX), difração de raios X (DRX), análise térmica diferencial (DTA). A análise por Fluorescência de Raios X foi realizada no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR), localizado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no equipamento XRF-1800 da Shimadzu. A fim de se obter a composição química de cada matéria-prima utilizada no trabalho. As análises por DRX das amostras de argilas, na forma crua, foram realizadas no Laboratório de Combustíveis e Materiais (Lacom), localizado na UFPB, pelo equipamento XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada foi  $K\alpha$  do Cu (40kV/30mA), a velocidade do goniômetro foi de 2º/min e passo de 0,02º. Os valores foram plotados no programa Origin Pro 8, e a interpretação foi efetuada por comparação com um

banco de dados contidos no programa computacional X'Pert HighScore Plus. As análises ATD das amostras foram realizadas na UFRN, pelo equipamento de Análises Térmicas Shimadzu TA 60h, com razão de aquecimento 10°C/min com atmosfera a ar artificial. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 1000°C e o padrão utilizado nos ensaios de ATD foi o óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) calcinado. Para a Espectroscopia de Infravermelho (IV) foi utilizado um equipamento Shimadzu, modelo IR PRESTIGE- 21. As pastilhas foram preparadas pela mistura de aproximadamente 1 mg de amostra com uma quantidade suficiente de brometo de potássio (KBr) para se atingir a concentração de 1% em massa da amostra. Sendo a mistura macerada em almofariz de ágata e comprimidas em prensa hidráulica a 80 N mm<sup>-2</sup>. O campo de varredura foi de 4000-400 cm<sup>-1</sup>. A caracterização foi realizada no Laboratório de Combustíveis e Materiais (Lacom) da UFPB.

Na etapa de confecção dos corpos de prova, as argilas foram submetidas à moagem e formulados as composições sugeridas pelo delineamento de misturas (adição de vermiculita expandida: 0%, 10%, 20%), classificação granulométrica abaixo da peneira ABNT n.º 40 e adição de água (teor de aproximadamente 8%) até obtenção de um teor de umidade próximo ao estado plástico da mistura. Os materiais foram conformado por meio de prensagem uniaxial seguido de secagem em estufa a 110°C por 24 horas.

Os corpos de prova foram sinterizados ao ar em forno resistivo a temperaturas de 800, 900 e 1000 e 1100°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min., e na temperatura máxima foi mantido um patamar por meia horas. A Tabela 1 mostra as formulações das amostras para confecção dos CPs, com as devidas misturas proporcionais a quantidade de massa necessária para a conformação das placas cerâmicas.

Tabela I - Formulações dos corpos de prova.

Amostras	Quantidade de Argila (%)	Quantidade de Vermiculita (%)	Massa de argila para os CPs (g)	Massa de vermiculita para os CPs (g)
B, C	100	0	13	0
B, C	90	10	11,7	1,3
B, C	80	20	10,4	2,6

Na Tabela II estão apresentadas as composições químicas das amostras das argilas cruas e da vermiculita expandida (V). Observa-se na Tabela II que a argila B apresenta a composição típica das cerâmicas vermelhas com predominância de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e altos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Na argila C o elevado teor de alumina caracteriza como responsável por elevar a temperatura de fusão desse material, tornando-se uma argila mais refratária. A vermiculita em sua forma bruta apresenta alguns desses óxidos de forma hidratada. Assim como na Figura 2 tem-se a imagem dos corpos de prova após as devidas sinterizações.

Tabela II – Composição química das argilas obtida por FRX.

Óxidos	Matérias-primas		
	B (%)	C (%)	V (%)

<b>SiO<sub>2</sub></b>	64,51	72,04	57,11
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,18	25,85	6,49
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11,71	0,69	9,40
<b>MgO</b>	3,48	0,22	17,55
<b>CaO</b>	1,64	0,05	4,77
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,13	0,95	1,78
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,20	-	0,62
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,38	-	0,88
<b>Total</b>	99,22	99,80	98,61
<b>Outros Óxidos</b>	0,78	0,20	1,39

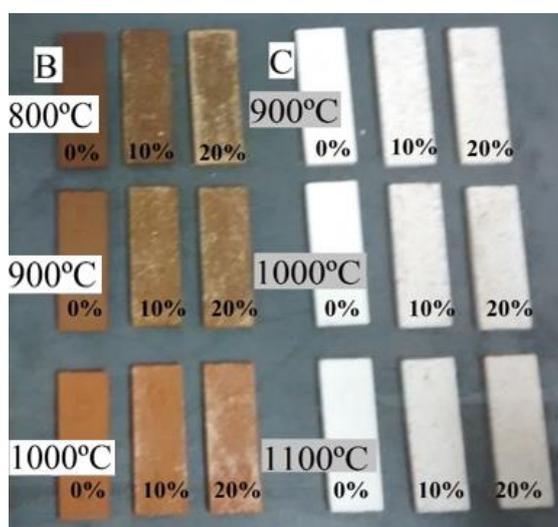


Figura 2: Corpos de provas após as sinterizações.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização das matérias-primas

Através da técnica de difração de raios X foi possível determinar a composição mineralógica das matérias primas. As Figuras 3, Fig.4 e Fig. 5 mostram os difratogramas para as argilas B e C e a vermiculita expandida (V), respectivamente. Para a argila B (Fig.3), a maioria dos picos apresenta quartzo (Q) com d.i.b. (4,03Å; 3,18 Å; 2,53 Å; 2,10 Å; 1,79 Å; 1,65 Å; 1,53 Å; 1,35 Å; 1,32 Å). O segundo pico de maior intensidade foi caracterizado como albita (F) (mineral pertencente à família do feldspato), com d.i.b. (3,70 Å; 3,65 Å; 2,19 Å), caulinita (7,13 Å; 4,35 Å; 2,28 Å), um tipo de mica (M) conhecida como flogopita (10,20 Å, 2,93 Å), e vermiculita (V), estrutura monoclinica (14, 40 Å). O DRX da argila C, representado na Fig.4, apresenta moscovita (M) (9,97 Å; 4,49 Å; 1,99 Å; 1,65 Å) e quartzo (Q) (4,23 Å; 3,33 Å) minerais natural das argilas, porém é evidenciada uma quantidade maior de caulinita (C) (7,15 Å; 4,36 Å; 3,84 Å; 2,49 Å; 2,29 Å). O DRX da vermiculita expandida (Fig. 5), a qual é constituído principalmente de vermiculita (V) (14,40 Å; 4,07 Å; 3,52 Å), quartzo (3,26 Å) e hidrobiotita (H) (11,77 Å; 2,62 Å; 1,53 Å), esses valores são semelhantes ao das vermiculitas referenciadas por [1, 2].

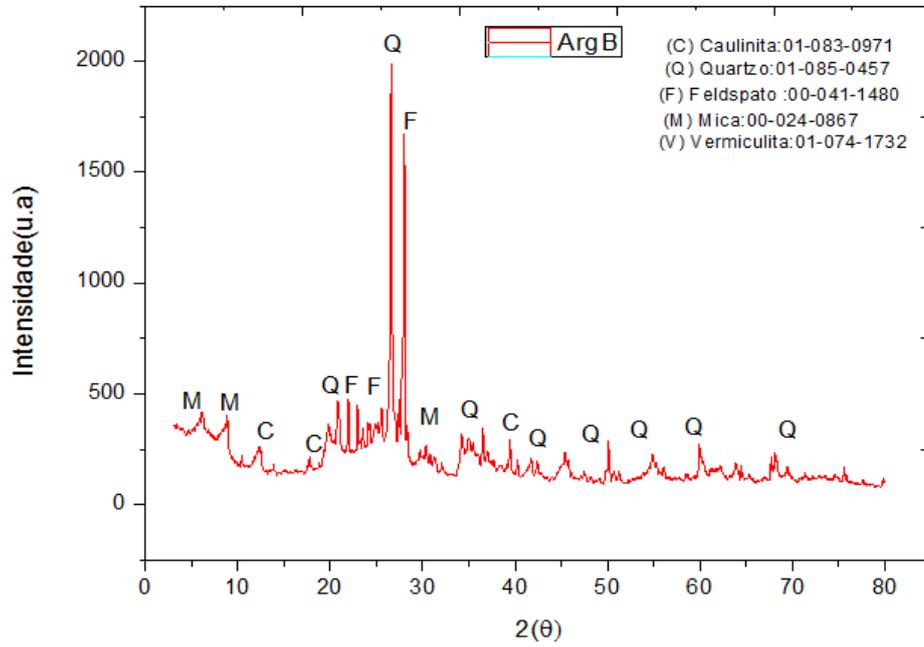


Figura 3: Difratoograma da argila "B".

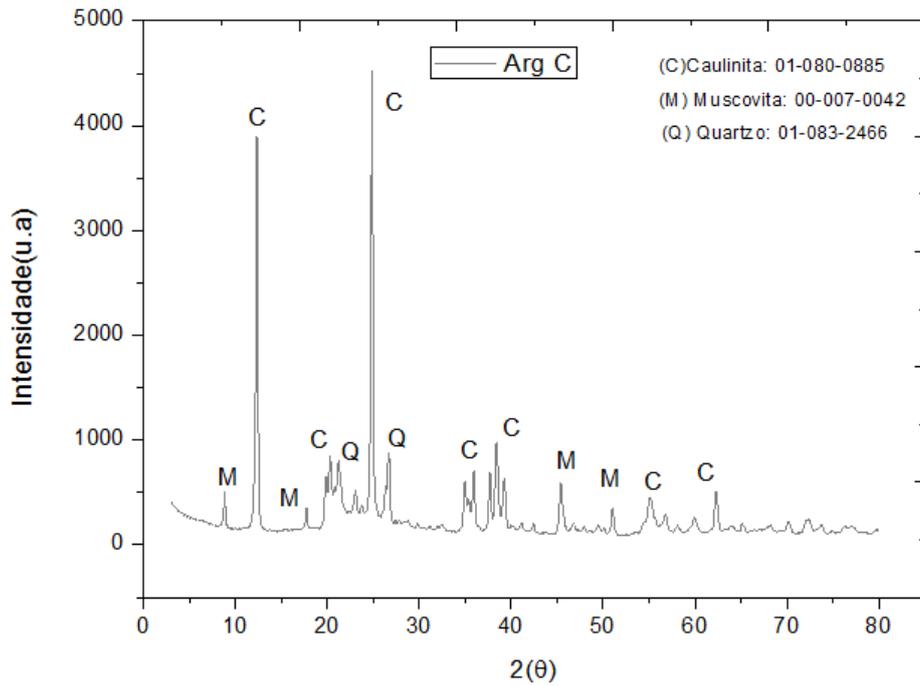


Figura 4: Difratoograma da argila "C".

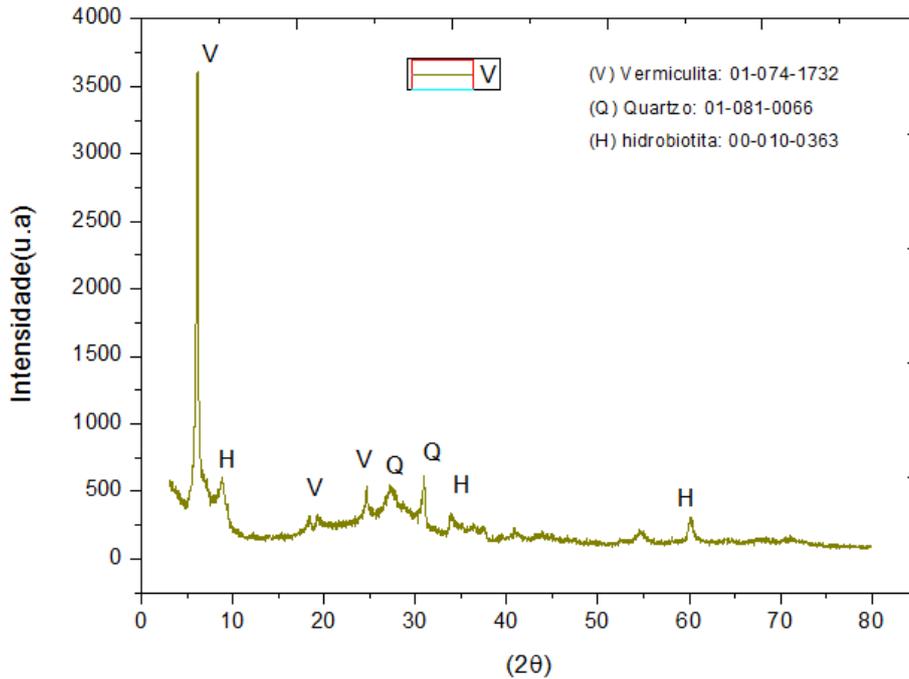


Figura 5: Difratoograma da argila "V".

Pelo ensaio de DTA observa-se o comportamento térmico da matéria-prima. A Figura 6 mostra o resultado de DTA da vermiculita expandida. A Figura 6 revela os principais fenômenos que ocorrem com a vermiculita em determinadas temperaturas, são elas próximas de 200, 600 e entre 900 e 1000°C caracterizando-os como endotérmico ou exotérmico, reversível ou irreversível. Geralmente, em temperaturas baixas ocorrem reações de pré-sinterização como desidratação, desidroxilação de argilominerais, decomposição de matéria orgânica e carbonatos, oxidação e etc.

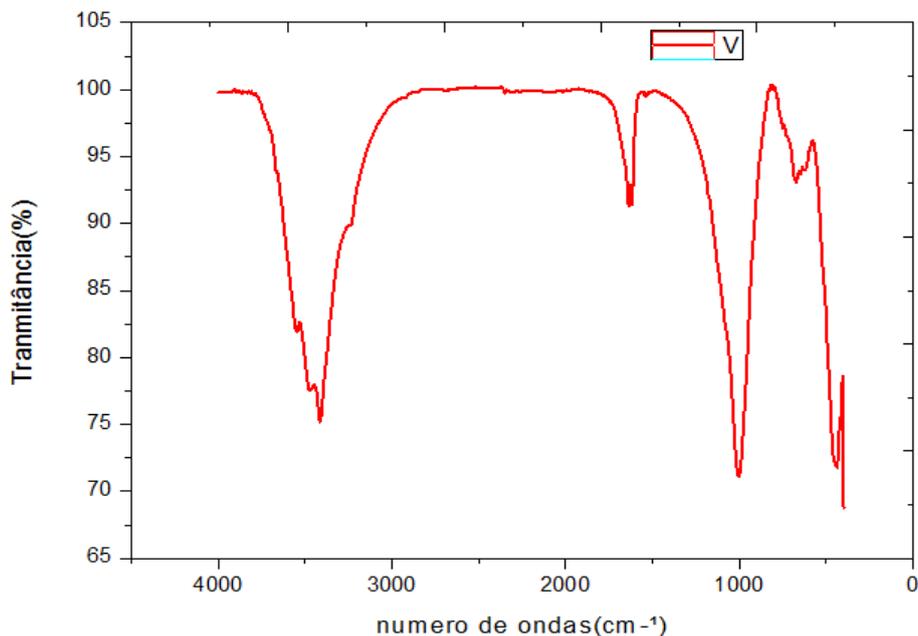


Figura 6: Espectroscopia de Infravermelho da argila "V".

A partir de uma amostra submetida à análise de espectroscopia de Infravermelho (IV), obtêm-se dados sobre a sua estrutura, bem como natureza das ligações, comprimento das ligações, geometria das ligações etc. A Figura 7 o espectro de infravermelho da vermiculita expandida. Observa-se uma banda de absorção larga e intensa na região aproximada de  $3400\text{ cm}^{-1}$  referente a vibrações de deformação axiais de O-H livres dos grupos (SiO-H) da estrutura. Outra banda de intensidade média pode ser vista em aproximadamente  $1650\text{ cm}^{-1}$ , atribuída à deformação angular simétrica da ligação O-H. A existência de uma banda de intensidade forte na região de  $1000\text{ cm}^{-1}$  corresponde à região de estiramento assimétrico de Si-O-Si e Si-OAl. A banda de intensidade média em  $450\text{ cm}^{-1}$  está relacionada à vibração de deformação Si-O. Todos os dados estão coerentes de acordo com a referência [4].

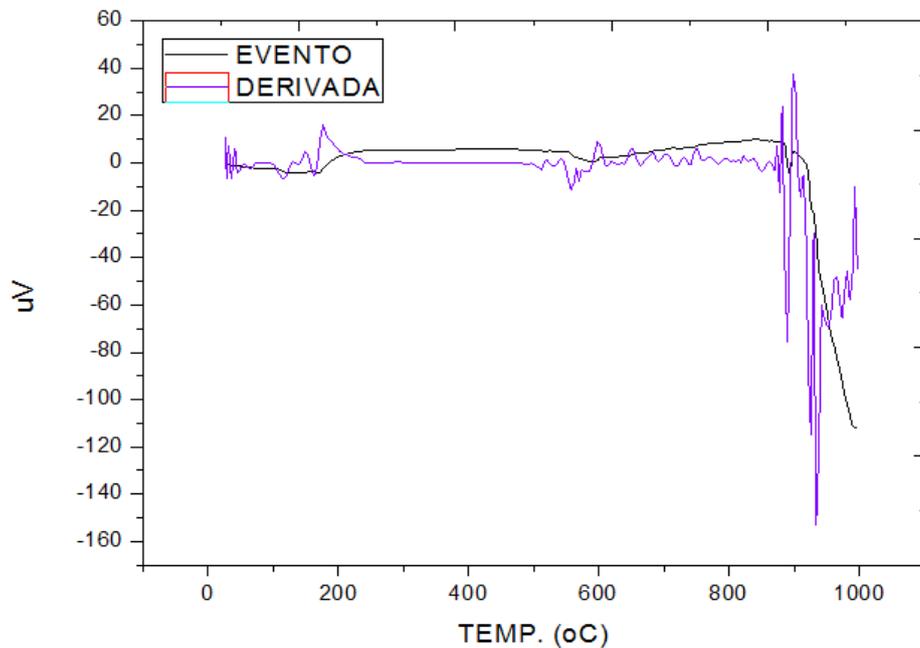


Figura 7: Curvas TA/DTA da vermiculita.

### Propriedades Tecnológicas

Os dados foram analisados através ferramentas de análises estatísticas e otimização matemática. Os parâmetros foram avaliados de acordo com as normas vigentes para cerâmica vermelha.

As fórmulas utilizadas para cálculo das propriedades tecnológicas foram [5]:

#### Retração Linear de Queima

$$RLq(\%) = \frac{Ls - Lq}{Ls} \cdot 100 \quad (A)$$

Ls – Comprimento do corpo de prova seco (mm)

Lq – Comprimento do corpo de prova após a queima (mm)

### Absorção de água

$$AA(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100 \quad (B)$$

Mu – massa do corpo de prova úmido (g)

Ms – massa do corpo de prova seco (g)

### Massa específica aparente

$$MEA \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{Mu}{Vol.u} \quad (D)$$

Ms – peso do corpo de prova seco (g)

Mi – peso do corpo de prova imerso em água (g)

Mu – massa do corpo de prova úmido (g)

### Módulo de Ruptura

$$TRF (MPa) = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (E)$$

P – carga para romper (N)

L – distância entre os apoios (mm)

d – espessura do corpo de prova (mm)

b – largura do corpo de prova (mm)

Dentre as propriedades tecnológicas são analisados e discutidos os resultados dos ensaios mecânicos que determinaram as propriedades cerâmicas de retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão por três pontos. A Figura 8 mostra os gráficos de retração linear a queima para as argilas B e C com as devidas concentrações da adição de vermiculita expandida em três diferentes temperaturas. Observa-se que as temperaturas acima de 1000°C os valores das retrações são bem mais relevantes, pois nessa temperatura à formação de fase líquida (vitrificação). Uma reta interessante é observada no gráfico da argila B a temperatura de 1000°C, a qual com o aumento da adição de vermiculita expandida mesmo na temperatura elevada houve uma pequena recuperação da peça, ou seja, o material expandiu.

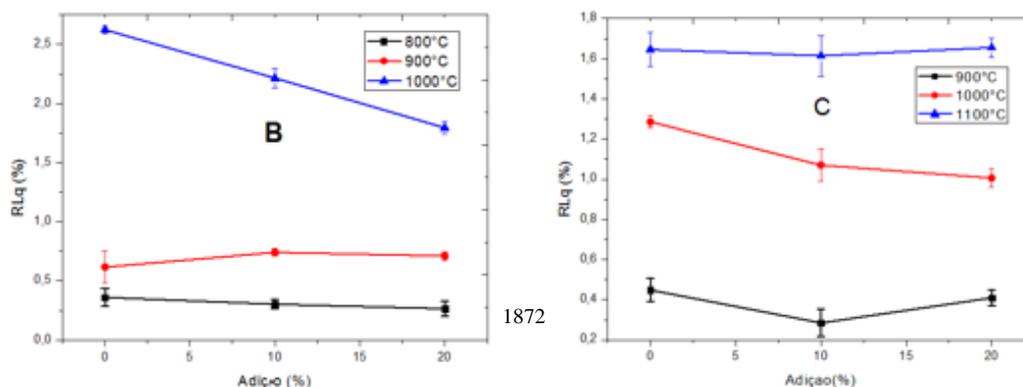


Figura 8: Retração linear a queima das formulações com: (a) argila “B”, (b) argila “C”

Os resultados de absorção de água representados na Figura 9, revelam que com o aumento da adição de vermiculita expandida aumentam os valores de absorção de água, confirmando que de certa forma as propriedades de isolamento foram melhoradas. No entanto a adição em excesso desse material pode prejudicar outras propriedades, no ultimo gráfico observa-se que adições acima de 10% já não são mais viáveis para as peça feitas com a argila C.

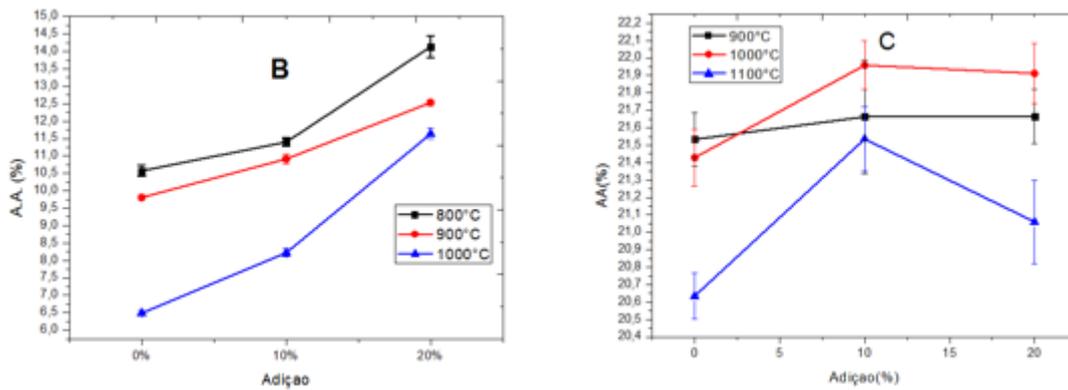
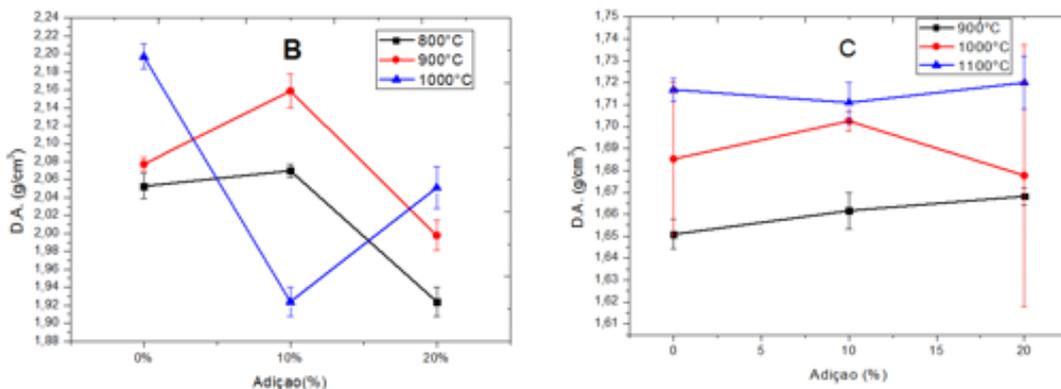


Figura 9: Absorção de água das formulações com: (a) argila “B” e (b) argila “C”.

Os resultados obtidos de densidade aparente, apresentados na Figura 10, uma vez que, quanto maiores a retração linear, mais compacto (denso) se torna o material. No gráfico para análise da argila B, observa-se que com o aumento da temperatura de queima houve uma melhor compactação dos CPs, com uma queda brusca na temperatura de 1000°C na adição de 10% de vermiculita expandida, não havendo muita redução nas dimensões das peças, depois disso a densidade volta a aumentar. No segundo gráfico observa-se que a elevadas temperaturas, há um aumento nos valores de densidade aparente e a adição de vermiculita expandida fez com que permanecessem na mesma



faixa de valores.

Figura 10: Densidade aparente para as formulações com: (a) argila “B”, (b) argila “C”.

Observa-se na Figura 11, pelos gráficos de tensão de ruptura à flexão adquiridos, uma diminuição da resistência mecânica ocorreu nos corpos de prova que apresentaram maiores valores de absorção de água e devido a redução da porosidade aberta no interior da peça, visto que muitas fraturas têm início em falhas estruturais superficiais, tais como poros. No caso dos poros foi observado o mesmo efeito porem dado pela estrutura esfoliada da vermiculita expandida.

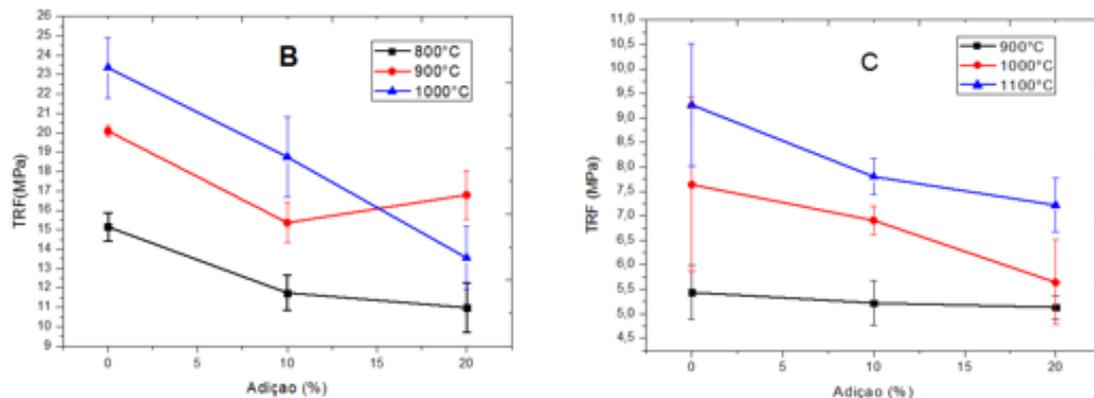


Figura 11: Resultados de resistência a flexão para os CPs com: (a) argila "B" e (b) argila "C".

## CONCLUSÃO

Os valores de retração linear a queima mostram que não houve um declínio muito nítido com o aumento da temperatura, uma vez que a densidade dos blocos diminuiu com a adição de vermiculita, enquanto os valores de absorção de água e conseqüentemente porosidade aparente aumentaram, e com isso uma redução na resistência mecânica dos blocos. Quanto às adições, na faixa de 10% de vermiculita expandida comparando com a adição de 20% houveram pequenas diferenças, apresentando boas propriedades para os corpos sinterizados na faixa de 1000°C.

## REFERÊNCIAS

- [1] MUCAHIT SUTCU, **Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks**. *Ceramics International*, Volume 41, Issue 2, Part B, Pages 2819–2827, (2015).
- [2] FUAT K, OSMAN G, MEHMET K; **Combined effect of sílica fume and expanded vermiculiton properties of lightweight mortars at ambiente and elevated temperatures** (2015).
- [3] Okyoung C, Su-Gwang J, Sumin K; **Preparation of energy eficiente paraffinic PCMs/expanded vermiculite and perlite composites for energy saving in buildings**. (2015).
- [4] CALLISTER JR., W. D. **Materials science and engineering: an introduction**. 4. ed. New York: J. Wiley & Sons, Capítulo 13, 302-352 (1997).

[5] SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. Ed. Edgard Blucher LTDA. 2ª ed. Vol.1. São Paulo, (1989).

### **Effect of the Addition of Expanded Vermiculite in the Technological Properties of Ceramic Materials of Clay Base**

#### **Abstract**

This paper discusses the effects of adding expanded vermiculite ceramic block made from two different types of clay and analysis of the properties for three compositions at different sintering temperatures. Samples pressed at 40 MPa were sintered between 800 and 1100 ° C. The technological properties were determined according to the sintering temperature. The evaluation of the crystalline phases and microstructure was carried out by X-ray diffraction results indicated that with the addition of expanded vermiculite in the specimens there was an increase in porosity of the blocks together with the water absorption, therefore a reduction in apparent density, as well as the breakdown voltage of the three-point bending. This study demonstrates the possibility of formulating ceramic blocs order to improve the insulating properties of these materials.

**Keywords:** Clay, expanded vermiculite insulation, microstructure, technological properties.