

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA SINTERIZAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA EM FORNO DE MICRO-ONDAS E FORNO CONVENCIONAL

EVALUATION BEHAVIOR OF SINTERIZATION OF RED CERAMICS IN MICROWAVE OVEN AND CONVENTIONAL OVEN

RIVABEN, Rafael Rítez

Graduando em Engenharia De Biossistemas, Universidade de São Paulo
rafael.rivaben@usp.br

LYRA, Gabriela Pitolli

Mestranda em Engenharia De Biossistemas, Universidade de São Paulo
gabiolyra@gmail.com

SANTOS, Valdemir

Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo
valdemir94@gmail.com

FISCHER, Clóvis

Docente do Departamento de Engenharia De Biossistemas, Universidade de São Paulo
cfischer@usp.br

PALLONE, Eliria M. de J. Agnolon

Docente do Departamento de Engenharia De Biossistemas, Universidade de São Paulo
eliria@usp.br

ROSSIGNOLO, João Adriano

Docente do Departamento de Engenharia De Biossistemas, Universidade de São Paulo
rossignolo@usp.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da sinterização da cerâmica vermelha em forno de micro-ondas, comparado ao processo de sinterização em forno convencional. Os corpos de prova produzidos com cerâmica vermelha, foram sinterizados em mufla por 1 hora e em micro-ondas por 10 e 20 minutos. Os resultados demonstraram que entre os dois métodos de sinterização, o que se mostrou mais eficiente foi a sinterização por micro-ondas, por elevar os valores da resistência à compressão e por reduzir os valores de absorção de água. Além disso, a sinterização por micro-ondas permitiu a redução do gasto energético para a produção da cerâmica vermelha.

PALAVRAS-CHAVE: Cerâmica vermelha. Micro-ondas. Forno convencional.

ABSTRACT

The present study had the objective to evaluate the efficiency of the sintering of clay ceramics in microwave oven, compared to the sintering process in conventional oven. The specimens produced with red ceramics were sintered in conventional oven for 1 hour and in microwave oven for 10 and 20 minutes. The results the two methods proved microwave sintering to be more efficient due to the values raise of the compressive strength and the the water absorption values reduction. In addition, sintering by microwave allows a reduction of energy expenditure for the production of red ceramics.

KEYWORDS: Red ceramic; Microwave; Conventional oven

1. INTRODUÇÃO

A indústria ceramista ocupa uma posição de destaque na economia brasileira, representando 1% do PIB nacional, sendo que 40% desta participação é representada pelo setor de cerâmica vermelha [8]. Área que consome cerca de 70 milhões de toneladas de matérias-primas por ano, através das 12 mil empresas distribuídas pelo país, conforme Macedo cita em seu artigo [8]. O Brasil é hoje o segundo maior consumidor e produtor mundial do seguimento, entretanto grande parte das indústrias ainda utilizam processos convencionais de sinterização, que resultam em elevado consumo energético [6] [13].

Dentre as pesquisas atuais na busca de aumento da eficiência energética na sinterização de materiais cerâmicos, destaca-se a sinterização em forno de micro-ondas. O aquecimento por micro-ondas é um dos processos não convencionais mais estudados para cerâmica de diversos tipos, porém são raros os trabalhos relacionados com a cerâmica vermelha. Este método possui algumas vantagens quando comparado ao convencional, como aquecimento rápido e homogêneo, microestrutura mais refinada, intensificação das taxas de densificação, tamanho de grãos uniformes, aumento da resistência mecânica, redução das temperaturas e tempo do processo, ocasionando significativa redução de energia [5] [7] [9] [15].

Tendo em vista os fatores citados anteriormente o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da sinterização da cerâmica vermelha em forno de micro-ondas, comparado ao processo de sinterização convencional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para sua caracterização utilizou-se os ensaios de limite de liquidez; limite de plasticidade; teor de umidade; análise granulométrica; e difração de raios X, seguindo as descrições previstas na ABNT NBR [1] [2] [3].

A mistura da argila com água foi realizada em bateadeira planetário por 5 minutos, usando 77,52% de argila com 3% de umidade natural e 22,48% de água. Em seguida os corpos de prova foram confeccionados com auxílio de uma extrusora de pequeno porte, marca “Indústria de Marombas Gelenski Ltda”, modelo MVIG-05, em formato cilíndrico com 1,5 cm de diâmetro e 3,0 cm de comprimento. A secagem foi realizada naturalmente por 72 horas. Após secagem foram sinterizados usando dois métodos: sinterização convencional e por micro-ondas (frequência de 2,45 GHz e potência de 700W). As temperaturas de sinterização para ambos os métodos foram: 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C. Para a sinterização em forno convencional utilizou-se a taxa de aquecimento de 4°C/min e patamar de temperatura máxima de 60 min. Para a sinterização em micro-ondas utilizou-se taxa de aquecimento de 50°C/min e patamares de 10 e 20 min.

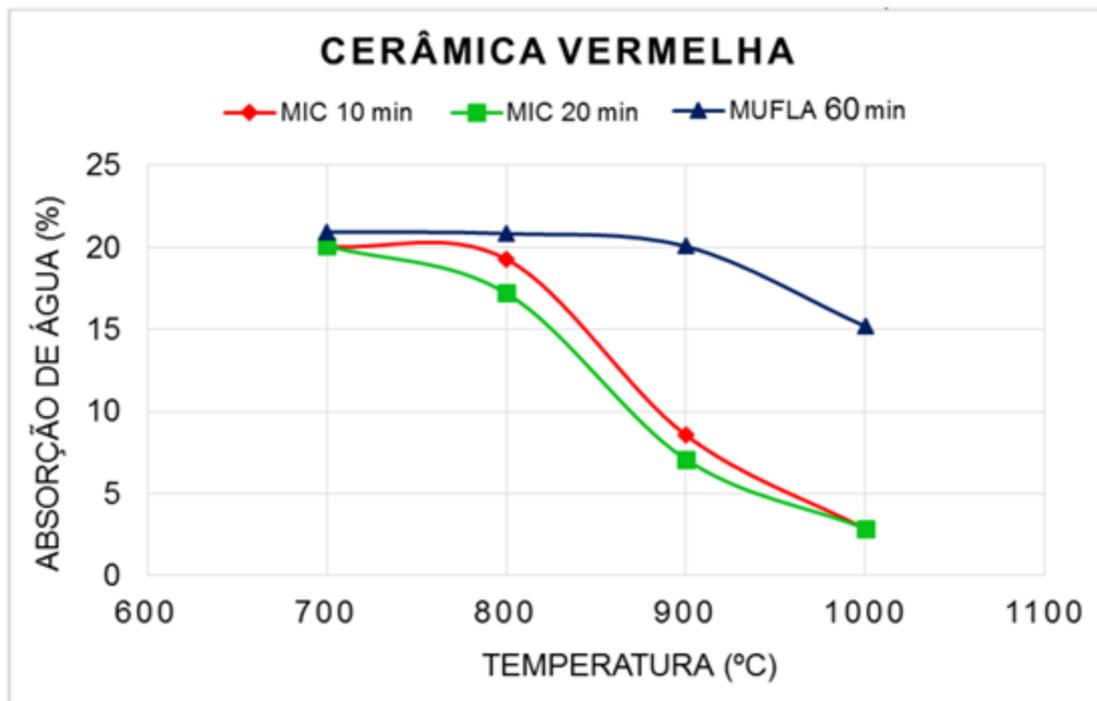
Para a caracterização dos corpos de prova foram realizadas as análises de retração linear, expansão por umidade, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, resistência à compressão, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difratograma de raio X, seguindo as descrições previstas na ABNT NBR [1] [2] [3].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises realizadas na caracterização da matéria prima utilizada mostraram altos teores de argila (48,5%) e silte (37,5%), com umidade natural de 4,2%, demonstrando que o material é predominantemente argiloso, sendo composto por 86% de grãos finos na sua composição. O material também apresentou um índice de plasticidade de 32,1%, dentro do intervalo desejado de 0% e 35%, entretanto, o limite de plasticidade ultrapassou o intervalo 15% a 25%, apresentando um valor de 25,9%. Com os valores encontrados, pode-se afirmar que a matéria prima utilizada pode ser caracterizada como uma argila altamente plástica [13].

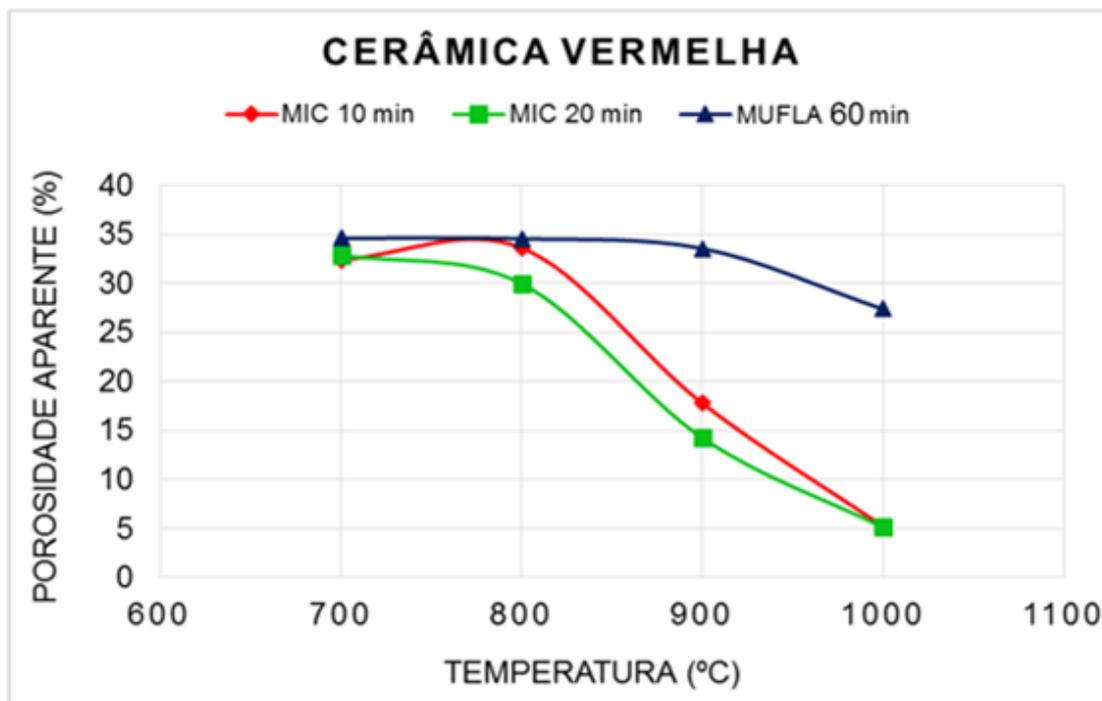
As Figuras 1 a 4 apresentam, respectivamente, os resultados de absorção de água, porosidade aparente, massa específica dos corpos de prova sinterizados e de resistência a compressão em forno micro-ondas e em forno convencional. Observou-se que os valores de absorção de água e porosidade aparente, diminuíram consideravelmente para as amostras sinterizadas em micro-ondas, em especial nas temperaturas mais elevadas (900 e 1000°C), quando comparado aos resultados das amostras sinterizadas em forno convencional. Esse fato pode ser atribuído à forma de aquecimento das amostras no forno micro-ondas (mais homogeneia) e ao reduzido tempo de queima, promovendo, assim, a redução da porosidade aberta do material.

Figura 1 – Absorção de água (%) em relação a temperatura para cerâmica vermelha sinterizada em micro-ondas e mufla.



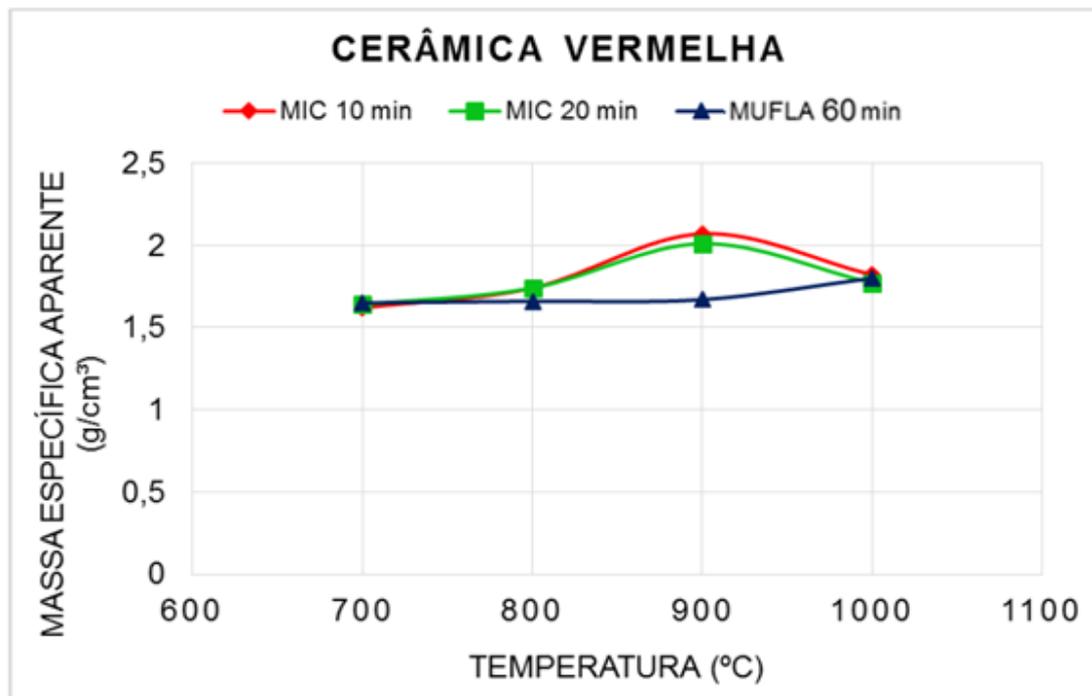
Fonte: Própria autoria.

Figura 2 - Curvas de porosidade aparente (%) em relação a temperatura para cerâmica vermelha sinterizada em micro-ondas e mufla.



Fonte: Própria autoria.

Figura 3 - Curvas de massa específica aparente (g/cm^3) para cerâmica sinterizada em micro-ondas e mufla.



Fonte: Própria autoria.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos de massa específica aparente para as diferentes condições de sinterização. Observa-se que os valores são muito semelhantes para ambos os processos e condições. Entretanto na temperatura de 900°C nas sinterizações realizadas em micro-ondas, em ambas as condições, houve um aumento de 22% na massa específica em relação ao método convencional, mostrando que o processo de sinterização por micro-ondas não foi tão eficiente quanto a sinterização convencional.

Tabela 1 - Massa específica aparente dos corpos de prova sinterizados em micro-ondas e mufla.

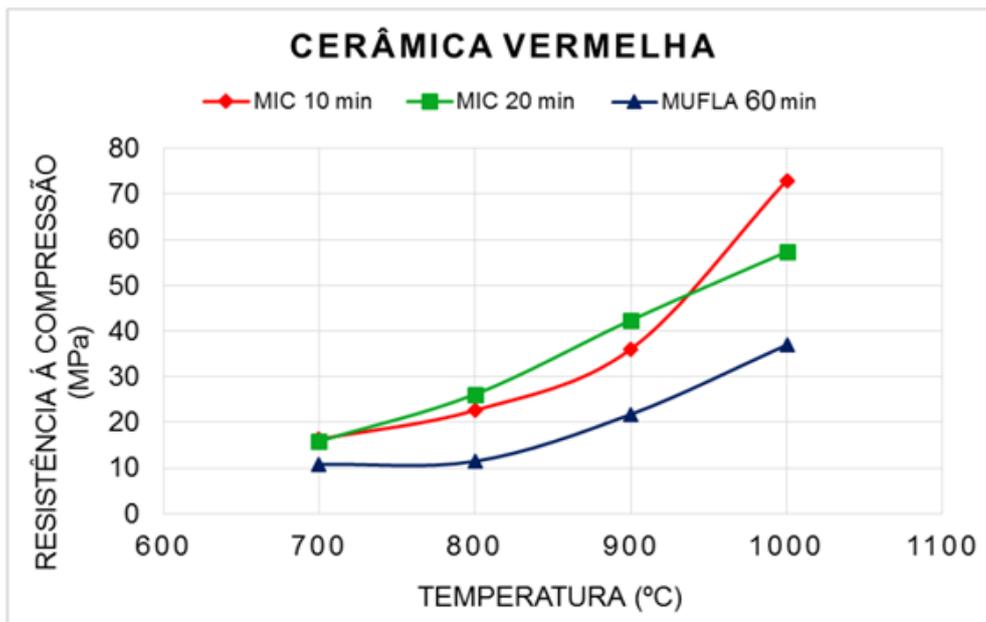
Cerâmica vermelha			
Massa específica aparente (g/cm^3)			
Temperatura (°C)	Microondas 10 minutos	Microondas 20 minutos	Mufla 60 minutos
700	1,62	1,64	1,65
800	1,74	1,74	1,66
900	2,07	2,01	1,67
1000	1,82	1,77	1,8

Fonte: Própria autoria.

A Figura 4 apresenta os valores de resistência à compressão para ambas as condições e processos de sinterização. Pode-se observar que o aumento da temperatura proporcionou um aumento

na resistência à compressão para todas as condições, pode-se também notar que esse aumento é mais significativo para os corpos de prova sinterizados em micro-ondas.

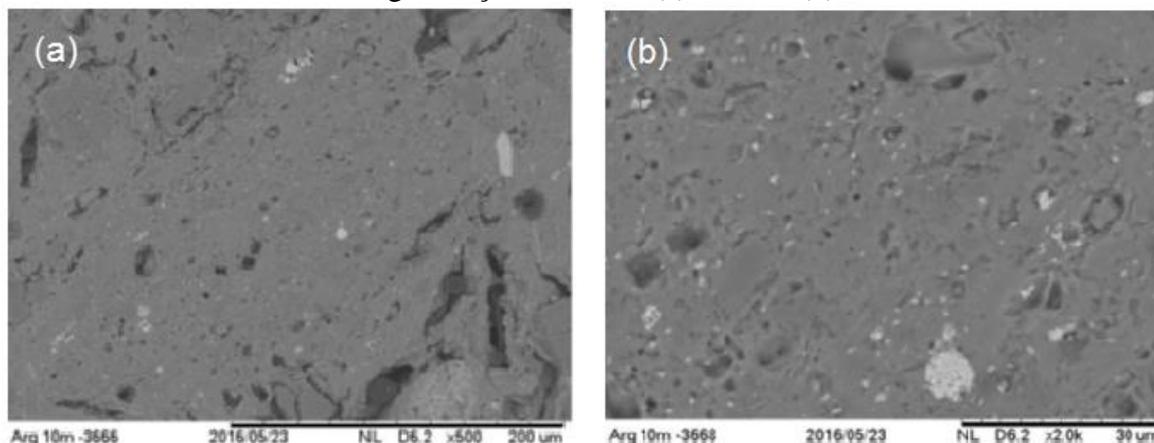
Figura 4 - Curvas de resistência a compressão (MPa) em relação a temperatura para cerâmica vermelha sinterizada em micro-ondas e mufla.



Fonte: Própria autoria.

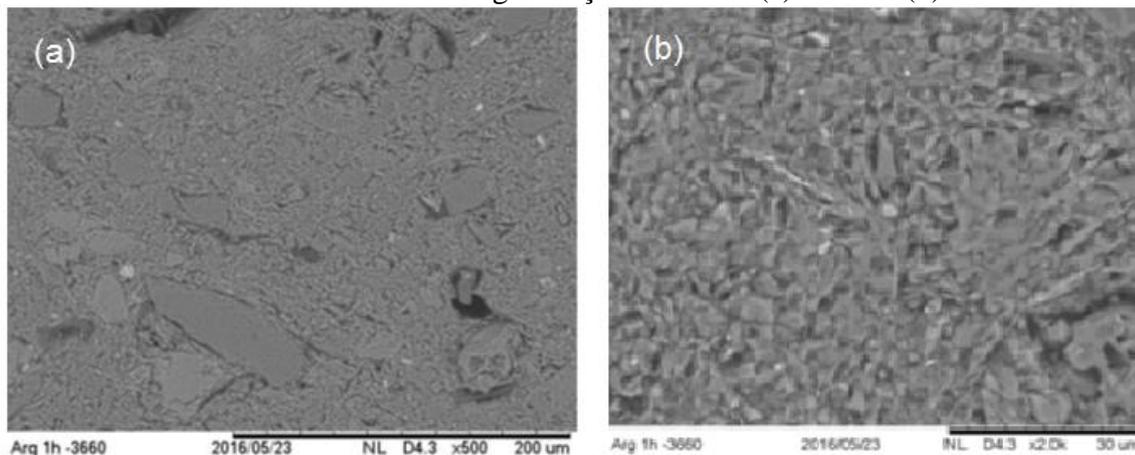
As Figuras 5, 6 e 7 apresentam, respectivamente, as micrografias obtidas por MEV dos corpos de prova sinterizados a 1000 °C pelo processo convencional e por micro-ondas usando patamares de 10 e 20 min, que houveram uma diferenciação na distribuição dos poros. Os poros das amostras sinterizadas em mufla estão mais juntos e conectados, aumentando a absorção de água. Já os sinterizados em micro-ondas estão mais isolados e desconectados, diminuindo assim, a absorção de água

Figura 5 – Imagens (MEV) da microestrutura dos corpos de prova sinterizados em mufla com as magnificações de 500x (a) e 2000x(b)



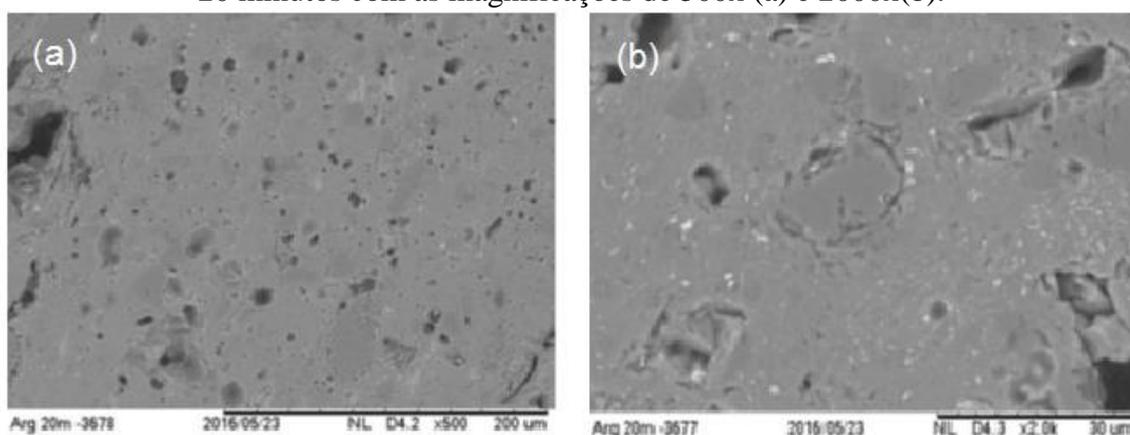
Fonte: Própria autoria.

Figura 6 - Imagens (MEV) da microestrutura dos corpos de prova sinterizados em micro-ondas por 10 minutos com as ampliações de 500x (a) e 2000x (b).



Fonte: Própria autoria.

Figura 7 - Imagens (MEV) da microestrutura dos corpos de prova sinterizados em micro-ondas por 20 minutos com as ampliações de 500x (a) e 2000x (b).



Fonte: Própria autoria.

A reorganização da estrutura porosa, foi o motivo do aumento dos valores da resistência à compressão das amostras sinterizadas em micro-ondas, conforme já apresentado.

5. CONCLUSÃO

A utilização do micro-ondas com a finalidade de uma sinterização mais uniforme, proporcionaram assim, uma maior densificação e uma formação de grãos mais homogênea, como foi possível observar nas figuras de 4 à 6 do microscópio eletrônico de varredura, notando uma clara diferença no crescimento dos grãos, do processo de sinterização convencional para o micro-ondas. Entretanto os valores de massa específica mantiveram-se muito similares aos dois métodos, não proporcionando grandes alterações.

Dentre os dois métodos, o que se mostrou mais eficiente foi a sinterização por micro-ondas, por ter conseguido elevar os valores da resistência à compressão e reduzir os valores de absorção de água, quando comparado aos valores apresentados na sinterização em mufla. Além disso, a sinterização por micro-ondas permite a redução dos gastos energéticos para a produção da cerâmica vermelha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR-6118**- Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:1984** Solo Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2007** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [5] CHENG, J. et al. Microwave sintering of transparent alumina. **Materials Letters**, Amsterdam, v. 56, n. 4, p. 587-589, 2002.
- [6] DUTRA, R. P. S. et al. Comparative study of the rapid burning with the traditional burning in the properties of ceramic materials of clayey base. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 333, p. 100-105, mar. 2009.
- [7] KEYSON, D. et al. Synthesis and processing of ceramics in domestic microwave oven. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 321, p. 50-56, mar. 2006.
- [8] MACEDO, R. S. et al . Study of clays used in red ceramic. **Cerâmica**, São Paulo , v. 54, n. 332, p. 411-417, Dec. 2008.
- [9] MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. A. Sintering of ceramic in microwave. Part I: key aspects. **Cerâmica**, São Paulo, v. 53, n. 325, p. 1-10, mar. 2007a.
- [10] MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. A. Sintering of ceramics in micro waves. Part II: Sintering of ZnO-CuO varistors, ferrite and porcelain. **Cerâmica**, São Paulo, v. 53, n. 326, p. 108-115, jun. 2007b.
- [11] MOTTA, J. F. M.; ZANERDO, A.; CABRAL JUNIOR, M. Ceramic raw materials. Part I: the profile of the main ceramic industries and their products. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 28-37, 2001.
- [12] PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Effect of firing temperature on some mechanical properties of red ceramics. **Cerâmica**, São Paulo, v. 56, n. 339, p. 237-243, jul. 2010.
- [13] SILVA, A. G. P.; ALVES JUNIOR, C. Rapid sintering: its application, analysis and relationship with innovative sintering techniques. **Cerâmica**, São Paulo, v. 44, n. 290, p. 225-232, dez. 1998a.

[14] PÉREZ, C. A. S. et al. Characterization of ceramic masses used in the red ceramic industry in São Domingos do Sul – RS. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 38-43, 2010.

[15] THOMAZINI, D. et ai. Ceramic alumina obtained by chemical synthesis using conventional sintering and by microwave. **Cerâmica**, São Paulo, v. 57, p. 45-49, 2011.