

INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA SECA DE *EICHHORNIA CRASSIPES* EM CERÂMICA VERMELHA*

Michelle Pereira Babisk¹
Gabriela Nunes Sales Barreto²
Geovana Carla GirondiDelaqua³
Monica CastoldiBorliniGadioli⁴
Carlos Maurício Fontes Vieira⁵

Resumo

A Lagoa do Vigário, localizada em Campos dos Goytacazes/RJ, encontra-se eutrofizada e em razão disto, é visível a presença de grande quantidade da macrófita *EichhorniaCrassipes*, que é indicadora de ambientes poluídos. Elas são muito utilizadas na técnica da fitorremediação. As massas cerâmicas suportam a incorporação de resíduos industriais e urbanos, que quando adicionado em quantidades controladas, não causam grandes variações de suas propriedades. Dentre esses resíduos, os combustíveis apresentam alto poder calorífico devido à elevada quantidade de matéria orgânica, e favorecem a economia de energia. Nesta pesquisa, objetivou-se estudar a viabilidade do uso de biomassa seca de *EichhorniaCrassipes* na produção de cerâmica vermelha. Foram preparadas composições com incorporações em até 10% em peso da biomassa, homogêneas, umedecidas e conformadas por extrusão, posteriormente queimadas de 650 a 1050°C. Foram determinadas as propriedades de densidade aparente à seco, retração linear de queima, absorção de água e resistência mecânica. Os resultados mostraram que é viável a incorporação dessa biomassa, mas que a quantidade deve ser controlada. Incorporações em até 5% de biomassa atendem a limites normatizados, e pode ser indicado como uma alternativa aplicável para sua destinação.

Palavras-chave: Biomassa; Resíduo combustível; *EichhorniaCrassipes*; Cerâmica vermelha.

INCORPORATION OF DRY BIOMASS OF *EICHHORNIA CRASSIPES* IN RED CERAMICS

Abstract

The Vigário Lagoon, located in Campos dos Goytacazes/RJ, is eutrophicated and due to this, the presence of large amounts of the macrophyte of *EichhorniaCrassipes*, which is indicative of polluted environments, is visible. They are widely used in the phytoremediation technique. Ceramic masses support the incorporation of industrial and urban waste, which when added in controlled quantities, do not cause large variations of its properties. Among these wastes, fuels have a high calorific value due to the high amount of organic matter, and favor energy saving. The objective of this research was to study the feasibility of the use of dry biomass of *EichhorniaCrassipes* in the production of red ceramics. Compositions were prepared incorporating up to 10% by weight of the biomass, homogenized, moistened and extruded, subsequently fired at 650 to 1050°C. The properties of dry apparent density, linear shrinkage, water absorption and mechanical strength were determined. The results showed that the incorporation of this biomass is feasible, but that the amount should be controlled. Incorporations of up to 5% of biomass meet normative limits, and can be indicated as an applicable alternative for its destination.

Keywords: Biomass; Fuel wastes; *EichhorniaCrassipes*; Red ceramics..

- ¹ Física, Doutora, Pós Doutoranda, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- ² Engenheira Metalúrgica e de Materiais, Graduanda, Bolsista de Iniciação Científica, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- ³ Bióloga, Mestre, Técnica, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil
- ⁴ Engenheira Química, Doutora, Pesquisadora, Núcleo Regional do Espírito Santo, Centro de Tecnologia Mineral, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.
- ⁵ Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Lagoa do Vigário, localizada em Campos dos Goytacazes/RJ, encontra-se eutrofizada devido ao despejo de esgoto não tratado, efluentes provenientes de residências e galerias públicas de águas pluviais, bem como de resíduos de fábricas e estabelecimentos comerciais. Em razão desses despejos, é visível a presença de grande quantidade da macrófita aquática *Eichhornia Crassipes*, conhecida popularmente como aguapé, que é indicadora de ambientes poluídos. Elas atuam absorvendo e/ou transformando-os em seus tecidos, devido a essa característica, são muito utilizadas na técnica da fitorremediação para remover poluentes presentes em meio aquático, sendo uma alternativa bastante útil para descontaminação de águas continentais[1].

Entretanto, é necessário que seja feito um manejo adequado de sua biomassa, pois seu acelerado ciclo de nascimento, morte e decomposição retorna os nutrientes assimilados ao sistema e contribui novamente para a eutrofização. Podendo ser considerada portanto, essa biomassa, um resíduo de fitorremediação.

As massas cerâmicas suportam a incorporação de resíduos industriais e urbanos, que quando adicionado em quantidades controladas, não causam grandes variações de suas propriedades. Portanto, atualmente a incorporação de resíduos em cerâmica vermelha é tida como uma solução correta do ponto de vista ambiental. Esses resíduos podem ser classificados quanto a sua incorporação em cerâmica vermelha como resíduos combustíveis, fundentes e que afetam as propriedades cerâmicas[2].

Os resíduos combustíveis apresentam alto poder calorífico devido à elevada quantidade de matéria orgânica que, quando queimados, provocam reações exotérmicas, com a liberação de calor para o processo o que favorece na economia de energia. Nesta categoria inclui resíduos de rejeitos urbanos, de estações de tratamento de água, da indústria têxtil e de curtume, resíduos derivados da extração e refino de petróleo e indústria de madeira e de papel, e se inclui a biomassa seca de *Eichhornia Crassipes*, como um resíduo de fitorremediação[3,4].

Nesta pesquisa, objetivou-se estudar a viabilidade do uso de biomassa seca de *Eichhornia Crassipes* na produção de cerâmica vermelha e avaliar a economia energética proporcionada com a incorporação desse resíduo.

2 METODOLOGIA

As matérias primas utilizadas neste trabalho foram massa cerâmica argilosa e biomassa da macrófita *Eichhornia Crassipes*, ambas provenientes do município de Campos dos Goytacazes/RJ. A massa cerâmica já preparada foi coletada em uma indústria cerâmica da região, seca em estufa de laboratório a $\pm 110^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, destorroada e peneirada em 20 mesh. A biomassa foi coletada na lagoa do Vigário, lavada em água corrente, seca em estufa de circulação ao ar e posteriormente em estufa de laboratório à temperatura de $\pm 60^{\circ}\text{C}$. Após a secagem foi triturada em moinho de facas.

Os corpos de prova foram conformados por extrusão com vácuo, nas dimensões 120mm x 30mm x 18mm, em uma extrusora laboratorial e secos ao ar e posteriormente em estufa a $\pm 110^{\circ}\text{C}$ até peso constante. A queima foi realizada em forno laboratorial, com temperaturas de 650, 750, 850, 950 e 1050°C. A taxa de aquecimento foi de 2°C/min com 120min de permanência na temperatura de patamar.

A caracterização da biomassa de interesse para avaliar seu comportamento para incorporação como um resíduo combustível foi realizada por meio de análise do poder calorífico, realizado de acordo com a norma ASTM D5865-13[5] e análise térmica por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimétrica (TG).

Para avaliação da viabilidade técnica de utilização da biomassa como matériaprima para indústria cerâmica, os ensaios realizados foram de densidade aparente a seco, retração linear de queima e absorção de água, conforme norma ASTM C373-72 [6] e ensaio resistência mecânica por tensão de ruptura a flexão em três pontos, de acordo com a norma ASTM C674-77 [7].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentada a análise térmica por calorimetria exploratória diferencial e termogravimetria (DSC/TG) da biomassa, realizada para verificar seu comportamento térmico. Pode-se observar que por volta de 100°C há um pequeno pico endotérmico o que caracteriza a perda de água adsorvida da biomassa, associado a uma razoável perda de massa. Dois picos exotérmicos bem definidos entre 200 e 600°C, associados a uma perda de massa de $\pm 55\%$, mostram que a biomassa libera calor nesta faixa de temperatura. Este calor liberado que vai contribuir para a economia de combustível durante a etapa de queima da cerâmica.

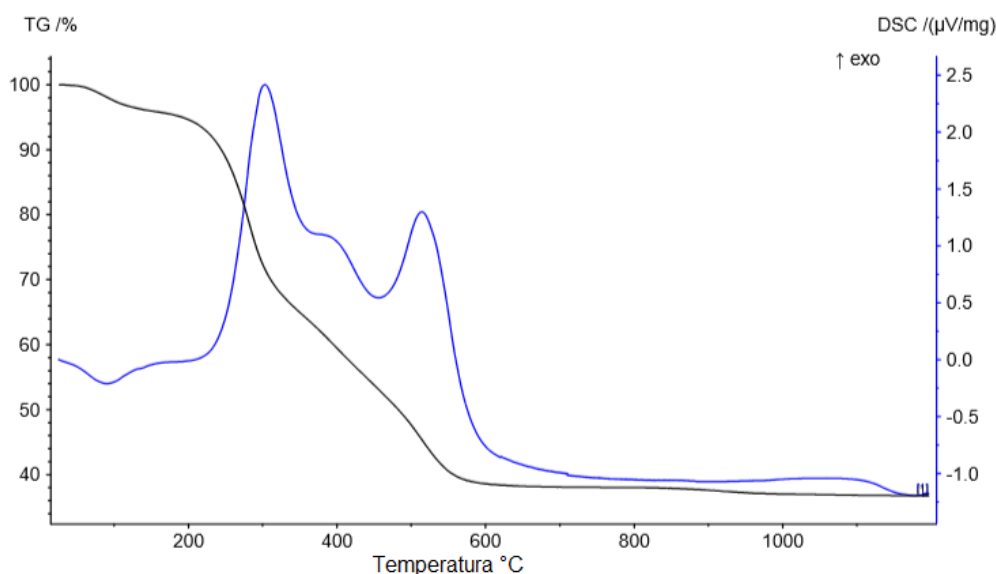


Figura 1. Curvas de DSC/TG da biomassa seca de *Eichhornia Crassipes*.

A Figura 2 apresenta os valores obtidos para a densidade aparente a seco das composições estudadas, e seus respectivos desvios padrões. Pode-se observar que o mesmo valor de densidade é mantido para incorporações em até 5% de biomassa na massa cerâmica, e que incorporações acima dessa porcentagem alteram a densificação dos corpos cerâmicos, diminuindo sua densidade. Este resultado era esperado, visto que a biomassa apresenta uma densidade real menor que as argilas que compõem a massa cerâmica, na faixa de 1-1,2g/cm³ contra 2,5-2,7g/cm³ das argilas [8].

Quanto mais denso o corpo de prova, melhor "empacotado" está, porque mais próximos ficam seus grãos e tendencialmente, menos espaços vazios possui. Na produção de cerâmica isso é benéfico pois o aumento da área de contato entre as partículas favorece a sinterização. Porém o aumento da densificação causa redução

na permeabilidade das peças cerâmicas, que pode ser prejudicial na etapa de secagem e na eliminação de matéria orgânica no ciclo da queima.

A velocidade de secagem da peça diminui na medida em que se eleva o valor da densidade a seco e o mesmo ocorre com a velocidade de oxidação durante a queima, e com isso podem surgir defeitos nas peças. Os defeitos mais recorrentes que podem ser observados são o “coração negro” e deformações, e estão diretamente ligados à densidade aparente a seco[9].

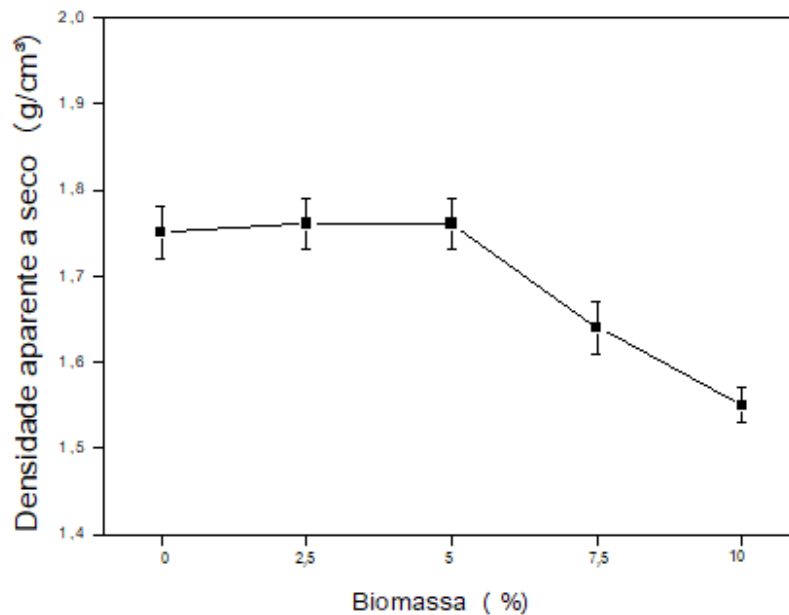


Figura 2. Densidade aparente a seco das composições.

Durante o processo de queima, os corpos de cerâmica vermelha passam por diversos processos como a sinterização e decomposição e transformações de fases. Devido a isso são apresentados na Figura 3 os resultados da densidade aparente de queima das composições em função da temperatura de queima e seus respectivos desvios padrões.

Comparando esses resultados com os obtidos para a densidade aparente a seco apresentados na Figura anterior, observa-se que a densidade dos corpos de prova queimados aumentam sutilmente com o aumento da temperatura de queima, mas sempre se mantendo um pouco abaixo dos valores encontrados para a densidade a seco até a temperatura de 950°C, ultrapassando somente o valor da densidade a seco para as composições com menores teores de incorporação de biomassa (até 5%) na temperatura de 1050°C. Esse comportamento é esperado visto que com o aumento da temperatura de queima se atinja uma maior densificação das peças de cerâmica vermelha, sobretudo a partir de 1000°C devido à presença de fase líquida formada a partir dessa temperatura.

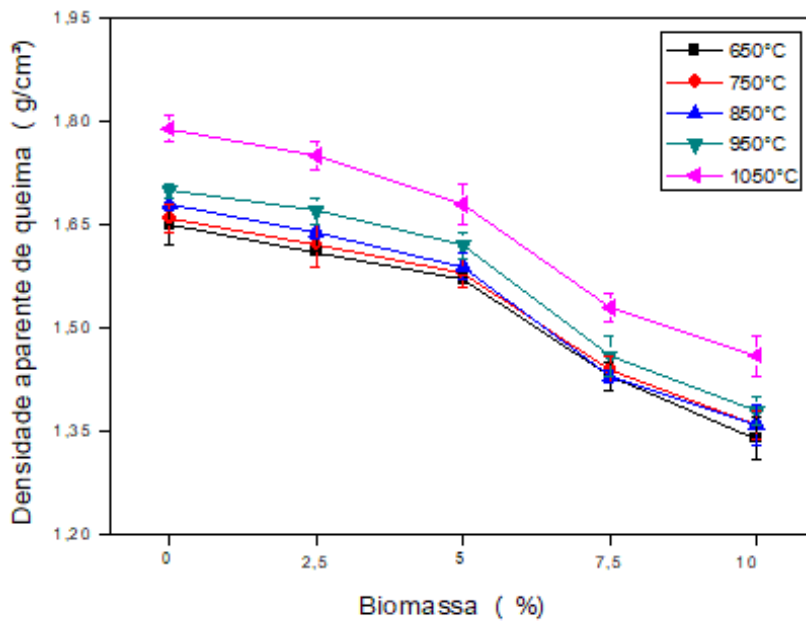


Figura 3. Densidade aparente de queima das composições.

A sinterização tende a fechar os poros do corpo prensado, o que é acompanhado por uma retração, cuja extensão sobre as dimensões da estrutura depende dos efeitos das reações. A sinterização, seja por qual mecanismo ela ocorra, tende a diminuir a área superficial do corpo, isto inclui a diminuição de volume dos poros, e como consequência, a estrutura contrai.

A Figura 4 apresenta os valores médios e desvios padrão da retração linear de queimados corpos de prova em todas as temperaturas estudadas. É observado um incremento significativo da retração linear com o aumento da temperatura de queima, isso ocorre devido à evolução da densificação do material e consequente diminuição da porosidade, conforme citado anteriormente. Pode ser observado que a biomassa praticamente não altera a retração linear da massa cerâmica, considerando as barras de erro.

A retração linear é um parâmetro tecnológico essencial para determinação das dimensões finais dos produtos de cerâmica vermelha. O ideal seria que os valores de retração das peças queimadas fiquem situados dentro de uma faixa estreita, de modo que garantam constância na obtenção de um produto de cerâmica vermelha de alta qualidade [10]. Nota-se ainda que a retração máxima de queima recomendada de cerâmica vermelha, 2%, só é ultrapassada na temperatura de 1050°C, para todas as composições [11].

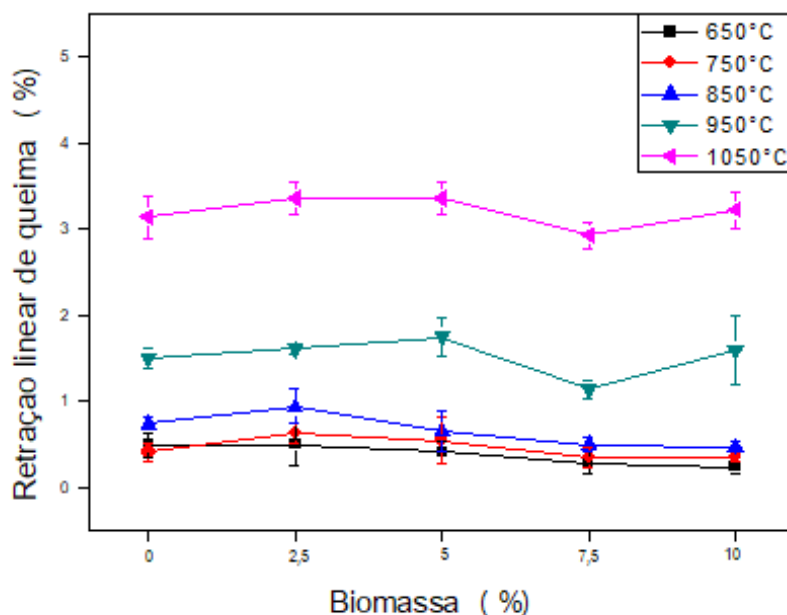


Figura 4.Retração linear de queima das composições.

Os valores médios e desvios padrão da absorção de água para as composições elaboradas em todas as temperaturas de queima são apresentados na Figura 5. A absorção é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta e avaliar a fundência do material. A menor infiltração de água na peça cerâmica determina, por exemplo, a maior durabilidade e resistência ao ambiente ao qual o material é exposto.

Observa-se que a absorção de água praticamente não foi alterada com o aumento da temperatura de queima de 650°C até 950°C, tendo diminuído significativamente somente a 1050°C, este comportamento está associado a maior formação de fase líquida nessa temperatura, que atual preenchendo os poros. Nota-se ainda que a absorção de água aumenta gradativamente com a incorporação de biomassa para todas as temperaturas de queima. Estes resultados podem ser explicados pela combustão dos compostos orgânicos da biomassa durante a etapa de queima, associada a uma perda de massa de $\pm 55\%$, conforme comprovado na análise térmica, o que acarreta porosidade nas peças cerâmicas.

Para blocos de vedação, segundo a norma NBR 15270-1 (2005), o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22% [12]. Já a norma NBR 15310 (2009) indica que o limite máximo admissível da absorção de água para telhas cerâmicas é de 20% [13]. É possível observar que os valores de absorção de água dos corpos de prova confeccionados com 2,5% de incorporação de biomassa, em todas as temperaturas estudadas, atendem aos limites normativos para blocos de vedação. E incorporações em até 5% de biomassa queimadas a 1050°C se enquadram para fabricação de telhas.

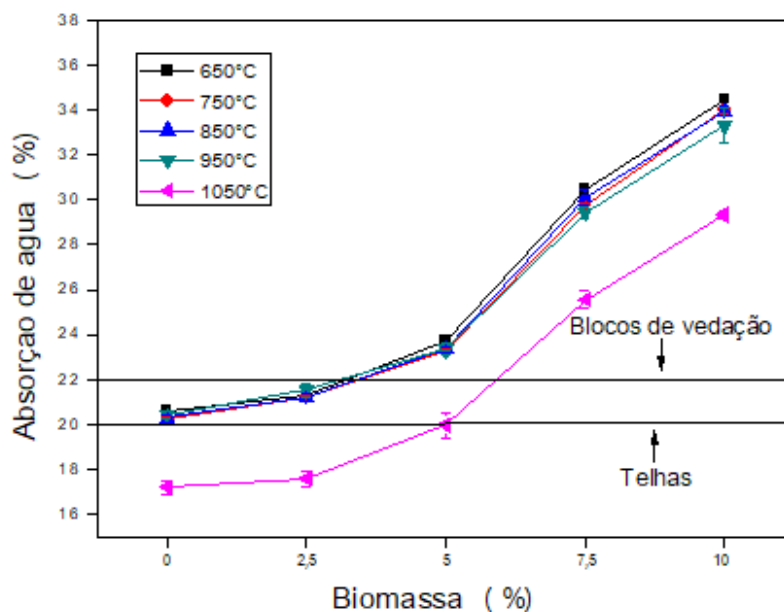


Figura 5. Absorção de água das composições.

A Figura 6 apresenta os valores médios e desvios padrão da resistência mecânica das composições estudadas em todas as temperaturas de queima. A resistência mecânica, ou tensão na qual o material se rompe, é a propriedade mais importante para os materiais estruturais.

Pode-se observar que a resistência mecânica aumenta com o aumento de temperatura, principalmente para 1050°C. Isso ocorre devido aos mecanismos de sinterização que possibilitam maior formação de fase líquida, reduzindo assim a porosidade do material e promovendo uma melhor consolidação das partículas. Nota-se ainda que de 650 para 750°C, bem como de 850 para 950°C, considerando-se as barras de erro, a resistência mecânica se mantém as mesmas. Já incorporação de biomassa diminui a resistência mecânica gradativamente, essa redução está associada à elevada perda de massa durante a queima, o que acarreta porosidade.

De acordo com Santos (1989) a resistência mínima desejada para fabricação de tijolos de alvenaria é de 2MPa, para tijolos furados é de 5,5MPa e para telhas é de 6,5MPa [14]. Os resultados obtidos para a massa cerâmica e com incorporações de biomassa em até 5% na temperatura de 1050°C estão acima da resistência mínima para fabricação das três peças citadas, sendo para incorporações superiores apropriadas apenas para produção de tijolos de alvenaria. Incorporações em até 2,5% de biomassa, queimados em 850 e 950°C se enquadram para produção de tijolos furados e de alvenaria, e incorporações de biomassa superiores a esta somente para produção de tijolos de alvenaria. Incorporações em até 7,5% queimadas a 650 e 750°C estão acima da resistência mínima para fabricação de tijolos de alvenaria, já a incorporação de 10% de biomassa queimadas nessas temperaturas não se enquadram para produção de nenhuma das peças citadas.

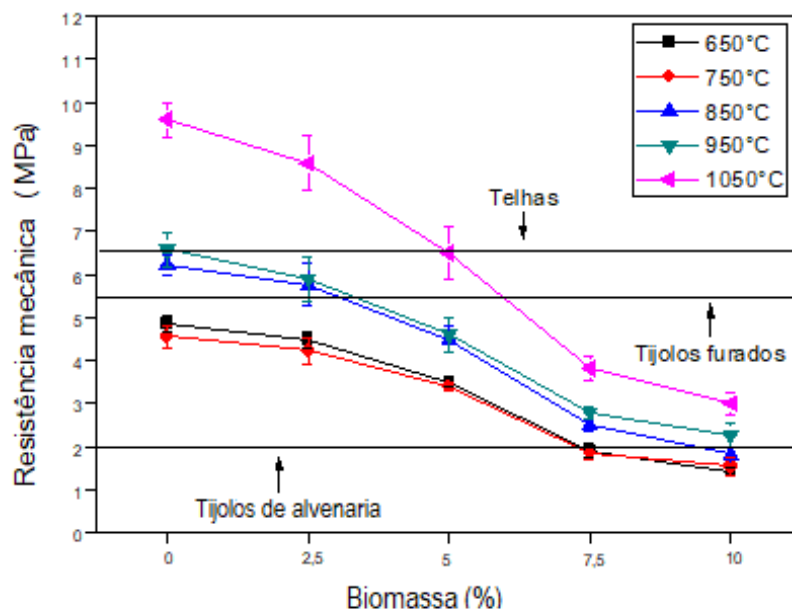


Figura 6. Resistência mecânica das composições.

O poder calorífico de um material se divide em poder calorífico superior e inferior e é expresso pelo conteúdo de energia que é liberada quando o material é queimado ao ar. O poder calorífico superior é o parâmetro de interesse para essa pesquisa, e refere-se à quantidade de calor liberada por um material em sua combustão. Quanto maior for este parâmetro, maior será a energia contida no combustível [15]. O valor do poder calorífico superior obtido para a biomassa seca de *Eichhornia Crassipes* foi de 2.389 kcal/kg.

Para o balanço energético, serão apresentados os dados relativos à economia energética proporcionada pela incorporação da biomassa a uma massa cerâmica na quantidade de 2,5% em peso. O levantamento da economia energética foi realizado para o forno tipo abóboda de queima a lenha considerando uma temperatura de patamar de 900°C.

Sendo:

- ✓ Poder calorífico da lenha: 2.600 kcal/kg;
- ✓ Poder calorífico da biomassa de *Eichhornia Crassipes*: 2.389 kcal/kg;
- ✓ Rendimento energético do forno abóboda: 780.000 kcal/T.

Para a produção de uma tonelada de produto usando lenha como combustível, o forno abóboda gasta em média: (consumo do forno (kcal/ton)/poder calorífico da lenha (kcal/kg)) = 780.000/2.600 = 300 kg de lenha.

Com a incorporação de 2,5% de resíduo, tem-se uma redução no consumo de energia do forno de: (quantidade de resíduo (kg))x(poder calorífico (kcal/kg)) = 25x2.389 = 59.725 kcal.

Com este dado, é possível calcular o percentual de energia economizado, durante a queima, que será de: (calorias fornecidas pela biomassa)/(consumo específico do forno) = 59.725/780.000 = 7,7%.

Entretanto, o calor teórico requerido para queimar 1 kg de argila é de 265 kcal. Isto mostra que a eficiência do forno abóboda é de cerca de 30%. Considerando que todo o calor gerado pelo resíduo de dentro da cerâmica seria aproveitado, a

economia de lenha seria de: calorias necessárias de lenha para fornecer a correspondente energia proveniente da biomassa = $100 \times 59.725 / 30 = 199.083 \text{kcal}$.

Esta é a energia de fato economizada com a incorporação de 2,5% de biomassa na massa e corresponde a uma redução real de 25% de energia proveniente da lenha (59.725/780.000).

3 CONCLUSÃO

✓ A incorporação da biomassa seca de *EichhorniaCrassipes* em até 5% em peso na massa de cerâmica vermelha estudada não alterou a densidade aparente a seco das peças conformadas, atendem ao limite máximo recomendado para retração linear de queima em temperaturas de queima até 950°C. Atendem aos limites normatizados para absorção de água e resistência mecânica para a fabricação de tijolos e telhas, quando queimados a 1050°C.

✓ O elevado poder calorífico da biomassa de *EichhorniaCrassipes* libera calor durante o processo de queima gerando economia de energia e menor tempo de queima. A incorporação de 2,5% da biomassa na massa reduziria em torno de 25% de energia proveniente da lenha (combustível usual).

✓ A incorporação em massa de cerâmica vermelha pode constituir como uma alternativa ambientalmente adequada para a disposição final da biomassa de *EichhorniaCrassipes*.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq e à CAPES.

REFERÊNCIAS

- 1 Martins, D. F. F. (2009) Influencia espaço-temporal e fisiológica na absorção de nutrientes e elementos tóxicos por *EichhorniaCrassipes* visando o uso adequado de sua biomassa: o caso do rio Apodi/Mossoró-RN. . Dissertação (Mestrado) UFRN, Rio Grande do Norte – RN.
- 2 Vieira, C. M. F.; MoO, S. N. (2009). Incorporation of solid wastes in red ceramics - an updated review. *Revista Matéria*, v. 14, n. 3, p. 881 - 905.
- 3 Dondl, M., Marsigli, M. Fabbri, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A review. *Tile & Bricks International*, v. 13, n.3, p.218-225, 1997a.
- 4 Dondl, M., Marsigli, M. Fabbri, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A review (Part 2). *Tile & Bricks International*, v. 13, n.4, p.302-308, 1997b
- 5 ASTM - American society for testing and materials. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, D5865-13, USA, 2013.
- 6 ASTM - American society for testing and materials. Water Absorptin, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, C373-72, USA, 1972.
- 7 ASTM - American society for testing and materials. Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, C674-77, USA, 1977.
- 8 Delaqua G.C.G (2016) Incorporação da biomassa seca de *salviniaauriculata* aubl. proveniente do processo de fitorremediação em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado) UENF, Campos dos Goytacazes - RJ
- 9 Coelho, C.; Efeito de parâmetros de processo na compactação de pós cerâmicos, Dissertação de Mestrado engenharia mecânica, UFSC, Florianópolis/SC, 1991.
- 10 Guimarães, C.A.O. (2017) avaliação do ciclo de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado) UENF, Campos dos Goytacazes - RJ

- 11 Más, E. Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha. São Paulo: Editora Pólo Produções Ltda, 2002.
- 12 ABNT-Associação brasileira de normas técnicas - NBR 15270-1 Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos, (2005)
- 13 ABNT-Associação brasileira de normas técnicas - NBR 15310 - Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, (2009).
- 14 Santos, P. S. Ciência e Tecnologia das Argilas. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1989. 408.91p.
- 15 Carvalho Júnior, R.M. (2010) Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ. Dissertação (Mestrado) UFPR, Curitiba - PR