

Utilização de briquetes como fonte alternativa de energia no setor de cerâmica vermelha na região do Seridó/RN

Rosimeire Cavalcante dos Santos, Andréa Karina Pinto Batista
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Renato Vinícius Oliveira Castro

RESUMO

O setor de cerâmica vermelha é um dos mais importantes para a economia do Estado do Rio Grande do Norte, e de modo mais expressivo, para a economia da Região do Seridó, com destaque para a cidade de Parelhas. Naquela região são produzidas, principalmente, telhas coloniais extrusadas, tijolos básicos e de oito furos e blocos de laje. Apesar da sua expressiva contribuição em emprego e renda, o setor cerâmico enfrenta dois grandes problemas, sendo um relacionado à dependência de uma única fonte de energia, que é a lenha, utilizada na fase de queima dos produtos e o outro ao processo empregado no que se refere à estrutura e funcionamento dos fornos. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do uso de briquetes como fonte alternativa à madeira, ou lenha, para o setor de cerâmica vermelha na Região do Seridó no Estado do Rio Grande do Norte, a partir de parâmetros de qualidade dos produtos e consumo de biomassa durante a queima. Este trabalho foi desenvolvido na Cerâmica Bela Vista, localizada no sítio Boa Vista, município de Parelhas/RN, Brasil, onde foi montado um experimento utilizando briquetes como fonte alternativa à lenha para geração de energia térmica, durante a queima dos produtos, realizadas em fornos do tipo abóbada o qual possui capacidade média de produção de 82.000 peças. Foram avaliados três tratamentos, com duas repetições cada, sendo em T1: 100% de lenha; T2: uma média de 70% em massa de lenha + 30% de briquetes e T3: uma média de 59% em massa de lenha + 41% de briquetes. A lenha foi proveniente da poda de cajueiro (*Anacardium occidentale* L) e algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.) oriundas de plano de manejo florestal e os briquetes foram confeccionados com resíduos da indústria moveleira. Depois de avaliar as características e o consumo dos combustíveis, o perfil das temperaturas durante a queima, os tempos decorridos para cada fase do processo, bem como a qualidade dos produtos e as porcentagens de perdas, concluiu-se que não houve diferença significativa no consumo médio de combustível entre os tratamentos; o maior intervalo de tempo total decorrido durante o processo de queima dos produtos foi observado ao se utilizar 30% de briquetes associados à lenha; as maiores porcentagens de produtos de primeira qualidade após a fase de queima foram observadas ao se utilizar 100% de lenha como combustível,

e de segunda qualidade quando foi utilizado 41% de briquetes associados à lenha, assim como maiores porcentagens de perdas; indica-se como porcentagem ideal 30% de briquetes associados à lenha como combustível para queima da cerâmica vermelha na Cerâmica Bela Vista; É viável a utilização de briquetes associados à lenha como fonte alternativa de energia em fornos abóbada, especialmente para diversificar a matriz energética do setor de cerâmica vermelha e para colaborar na redução da pressão sobre a caatinga.

Palavras-chave: biomassa florestal, setor de cerâmica vermelha, eficiência energética, briquete, fontes alternativas de energia.

ABSTRACT: The sector of the red ceramic is one of the most important to the Rio Grande do Norte's economy, and in an expressive way, to the Seridó's region economy, with distinction to the city of Parelhas. In that region are produced, mainly, extruded colonial tiles, basic and eight holes bricks and slab blocks. Despite of its expressive contribution in employment and income, that sector faces two big problems, one is related to the dependence from the only source of energy, that is the firewood used in the burning product phase and the other one to the process employed which refers to the structure and operation of the ovens. In this context, the objective of this work was to evaluate the feasibility of the use of briquettes as an alternative source to the wood or to the firewood by the sector of the red ceramic in the Seridó's region in Rio Grande do Norte, from the quality's parameters of the products and consumption of biomass during the burning. This work was developed in Cerâmica Bela Vista, situated in Sítio Bela Vista, city of Parelhas/RN, Brazil, where an experience was made using briquettes as an alternative source to the firewood to generate thermal energy, during the burning of the products performed in ovens type dome that has average production capacity of 82.000 pieces. It was evaluated three treatments, with two replications each, being T1: 100% of firewood; T2: an average of 70% in firewood mass + 30% of briquettes and T3: an average of 59% in firewood mass + 41% of briquettes. The firewood was collected from a cashew tree pruning (*Anacardium occidentale* L) and algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C., from the forest management plan and the briquettes were manufactured with furniture industry waste. After evaluating the characteristics and the consumption of the fuels, the temperatures profile during the burning, the time passed by to each phase of the process, as well as the quality of the products and the waste's percentage, it was concluded itself that there wasn't significant difference in the average consumption of the fuel between the treatments; the largest interval of total time passed by during the burning process of the products was observed when it was used 30% of briquettes associated to firewood; the largest percentages of the first quality products after the burning phase were observed when it was used 100% of firewood as fuel, and of second quality when it was used 41% of briquettes associated to firewood, as well as the largest waste percentages; it is indicated as ideal percentage 30% of briquettes associated to firewood as the fuel to burn the red ceramic in the Cerâmica Bela Vista; it's feasible the use of briquettes associated to firewood as alternative source of energy in dome ovens, specially to diversify the energy matrix of the sector of the red ceramic and too collaborate in reduction of the pressure over the caatinga.

Key-words: forrest biomass, red ceramic sector, energetic efficiency, briquette, alternative sources of energy.

INTRODUÇÃO

A produção de cerâmica no Brasil constitui-se como um importante segmento industrial, pois gera emprego e renda e, para a economia do Estado do Rio Grande do Norte, o destaque é para o segmento da indústria de cerâmica vermelha. Segundo dados do Sebrae *et al.* (2013), essa cadeia produtiva soma um total de 186 indústrias em atividade no Estado do Rio Grande do Norte. Essas estão distribuídas e concentradas basicamente em quatro pólos regionais: Grande Natal, Região do Seridó, Baixo Assú e Região Oeste.

Porém, a realidade desse setor no referido Estado, no que diz respeito ao processo de produção, não é dos mais adequados, principalmente se analisarmos a atividade numa perspectiva ambiental. No entanto, ao longo dos anos, a atividade ceramista vem ganhando cada vez mais espaço na participação sócio econômica do Estado e, de modo especial, da Região do Seridó.

A maior concentração de empresas cerâmicas no Estado está localizada na Região do Seridó, somando um total de 99 indústrias (SEBRAE *et al.*, 2013). No entanto, embora lidere o quadro quantitativo de cerâmicas, é nessa região onde se encontram os menores índices de desenvolvimento tecnológico durante a produção da cerâmica vermelha, e também é a região mais afetada no que diz respeito aos impactos ambientais decorrentes dessa atividade, principalmente quando são levadas em consideração suas características naturais e o perfil exploratório que a atividade apresenta, além do tempo em que a mesma vem sendo desenvolvida em seu território. A região encontra-se encravada em uma área conhecida como Polígono das Secas, marcada pela escassez de chuvas, altas temperaturas, reduzida cobertura vegetal, solos rasos e pedregosos, apresentando baixíssima capacidade de retenção de água.

Grande parte dessas indústrias está localizada no município de Parelhas-RN, e segundo dados do SEBRAE (2013), o município apresenta um total de 33 cerâmicas instaladas e em operação. Para essa cidade, o crescimento econômico, devido à atividade, trouxe notáveis impactos positivos em geração de emprego, renda e ampliação da infraestrutura urbana da cidade, o que refletiu positivamente na qualidade de vida da população (NASCIMENTO, 2007).

Apesar do impacto positivo nas questões socioeconômicas, o processo produtivo predominante nas indústrias cerâmicas na Região do Seridó ainda segue padrões rudimentares no que se refere às estruturas dos fornos e, acima de tudo, dependência de um único insumo energético durante muitos anos para fase de queima dos produtos, que é a madeira, chamada de lenha. Esse fato colabora para a eliminação sistemática da cobertura vegetal e o uso indevido da terra, o que tem acarretado graves problemas ambientais ao Semiárido nordestino, entre os quais se destacam: a redução da biodiversidade, a degradação dos solos, o comprometimento dos sistemas produtivos e a desertificação de extensas áreas (PEREIRA *et al.*, 2001).

De acordo com a Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó (ADESE), em 2008, alguns empreendimentos utilizam, além da lenha, outras fontes de biomassa como recurso energético para queima dos seus produtos, mas, somente em função da escassez da lenha já percebida pelos proprietários. No entanto, dada a dimensão do número de cerâmicas na região que ainda utilizam uma única fonte de energia, que é a lenha, é uma realidade a necessidade de se desenvolver pesquisas que respondam sobre a viabilidade de associação à lenha de outra fonte de energia, ou mesmo substituição sistemática, de modo a reduzir a pressão na caatinga do Semiárido nordestino e diversificar a matriz energética para esse setor.

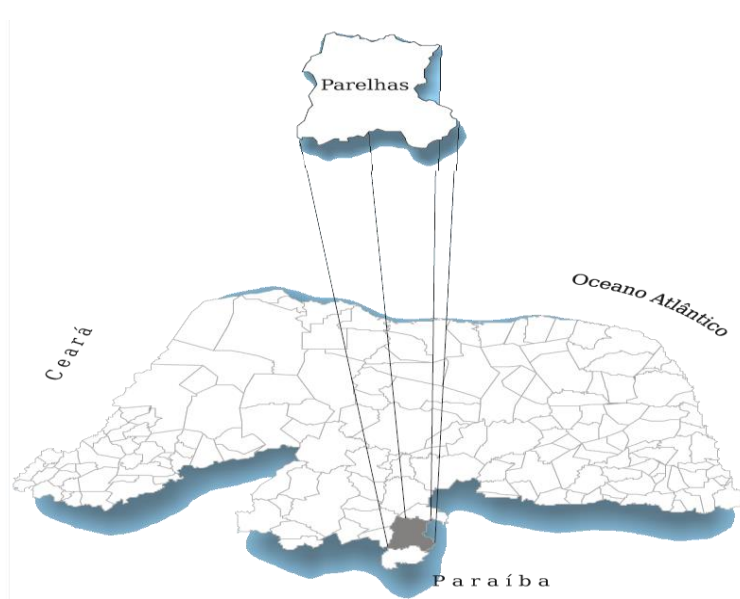
Diante do exposto, os objetivos desse trabalho foram: (1) Geral: Analisar a viabilidade do uso de briquetes em associação à lenha como fonte alternativa de energia para o setor de cerâmica vermelha na Região do Seridó no Estado do Rio Grande do Norte; (2) Específicos: Determinar o consumo de lenha durante a queima dos produtos cerâmicos e utilizar esses dados como referência para estimar o consumo de briquetes quando em associação à mesma; Determinar as porcentagens de associação dos briquetes à lenha utilizadas na Cerâmica Bela Vista na fase de queima dos produtos; Determinar a qualidade dos produtos e as porcentagens de perdas de acordo com os parâmetros da empresa; Avaliar a influência das porcentagens de associação dos briquetes à lenha nas temperaturas alcançadas; Avaliar a influência das porcentagens de associação dos briquetes à lenha no tempo total do processo; Avaliar a influência das porcentagens de associação dos briquetes à lenha na qualidade dos produtos e nas porcentagens de perdas; Determinar as características físicas e o poder calorífico da lenha e dos briquetes; Indicar, dentre as porcentagens estudadas, a mais adequada, visando menor consumo de combustível e melhor qualidade do produto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

Para realização deste trabalho, foi feito um estudo de caso na Cerâmica Bela Vista a qual possui como principal atividade econômica a fabricação de artefatos de cerâmica e barro cozido para uso na construção civil, e, de acordo com dados fornecidos pelo proprietário, normalmente, dos 100% da produção 90% corresponderam a telhas coloniais extrusadas, 9% tijolos básicos e de oito furos e 1% blocos de laje. Está localizada no sítio Boa Vista, município de Parelhas/RN que possui uma área de 523km² e uma população de 20.339 habitantes (IBGE, 2012). A Figura 1 ilustra a localização do município de Parelhas dentro do Estado do Rio Grande do Norte.

Figura 1. Localização do município de Parelhas dentro do Estado do Rio Grande do Norte



Fonte: MME, 2005 – Adaptado.

2.2 Material utilizado

Foram utilizados briquetes como fonte alternativa à madeira ou lenha, como é referida pelo setor cerâmico, para geração de energia durante a fase de queima dos produtos em 2 porcentagens de associação, em média, 30% e 41,1%, seguindo-se às

determinações da gerência da cerâmica. A aferição da massa do combustível a ser utilizada em cada repetição por tratamento teve como referência o tratamento 1, no qual o quantitativo de combustível utilizado para queima dos fornos correspondeu a 100% de lenha.

O número de tratamentos e os parâmetros de massa dos combustíveis utilizados para queima da cerâmica foram seguidos conforme rotina da fábrica. Pretendeu-se, desde o início do trabalho, adotar referências exatas para as aferições de massa e, assim, seguir investigações que fossem desde a queima com 100% lenha até queima com 100% briquetes, passando por porcentagens de associação entre os combustíveis de 75%, 50% e 25%. No entanto, limitações foram impostas em função da rotina da fábrica e aquisição dos resíduos para confecção dos briquetes.

Foi utilizada para a queima dos produtos a lenha proveniente da poda de cajueiro (*Anacardium occidentale* L) e da exploração da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.) e briquetes confeccionados com resíduos da indústria moveleira, especificamente pó de serragem.

O estudo foi realizado a partir de três tratamentos, com duas repetições em cada tratamento. Na Tabela 1, estão descritos os tratamentos adotados na experimentação.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos adotados no estudo.

Tratamentos	Repetições	Combustível	Quantidade de Combustível	
			Kg	%
Tratamento I	1	Lenha	15.720	100
		Briquete	-	-
	2	Lenha	15.360	100
		Briquete	-	-
Tratamento II	1	Lenha	11.560	73
		Briquete	4.200	27
	2	Lenha	9.520	65
		Briquete	5.000	35
Tratamento III	1	Lenha	8.840	56
		Briquete	7.000	44
	2	Lenha	10.600	64
		Briquete	6.000	36

2.3 Produção dos briquetes

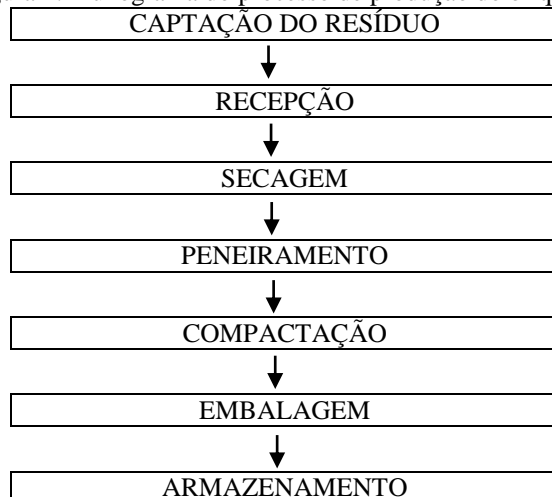
A produção média de briquetes na Cerâmica Bela Vista é de 150.000kg por mês e os resíduos utilizados são originados de vários municípios, conforme está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Municípios de origem dos resíduos coletados para a confecção dos briquetes na Cerâmica Bela Vista e a distância (Km) do local de fabricação.

Municípios	Distâncias(Km)
Caicó-RN	54
Currais Novos-RN	50
Jucurutu-RN	82
Carnaúba dos Dantas-RN	17
Santa Cruz-RN	86
Taperoá-PB	60
Patos-PB	80
Esperança-PB	95
Sapé-PB	163
Lagoa da Roça-PB	99

A produção de briquetes na Cerâmica Bela Vista acontece em um galpão anexo ao pátio fabril medindo 14,00m x 40,00m, totalizando uma área de 560m². O fornecimento dos resíduos para fabricação dos briquetes é realizado conforme rotina de entrega da produção cerâmica. O caminhão que transporta os produtos realiza as entregas em casas comerciais de venda de material de construção e retorna à cerâmica carregado com os resíduos, obedecendo a uma rotina mensal de aquisição pela cerâmica de, aproximadamente, 20 caminhões de resíduo. São utilizados também, em época de safra, para a produção dos briquetes, o resíduo proveniente da exploração da cana-de-açúcar. A Figura 2 ilustra o fluxograma de produção dos briquetes na Cerâmica Bela Vista.

Figura 2. Fluxograma do processo de produção do briquete.



O processo de produção baseia-se inicialmente na captação do resíduo. Em seguida, a secagem é realizada ao ar livre, durante um período de aproximadamente 72 horas, sem, no entanto, haver controle da umidade, adotando-se, para tanto, técnicas empíricas. A Figura 3 (a e b), ilustra, respectivamente, a secagem do resíduo ao ar livre e a estocagem em galpão fechado após peneiramento, utilizando-se peneira com granulometria de 3cm, conforme Figura 4.

Figura 3. a) Resíduo exposto à secagem natural; b) Resíduo após secagem estocado em galpão coberto.



Figura 4. Peneiramento do resíduo.

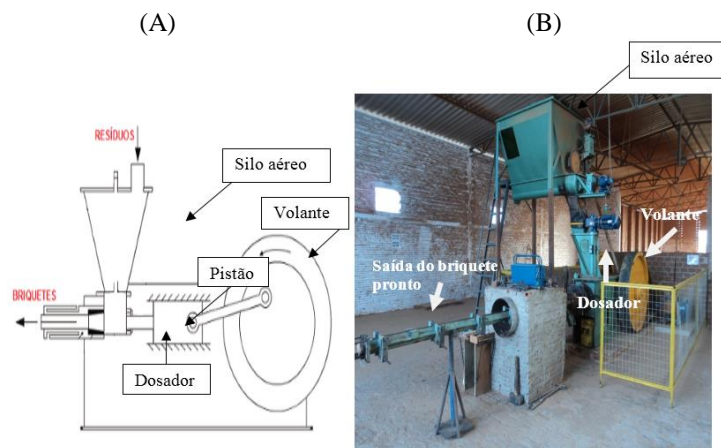


A compactação é realizada utilizando-se briquetadeira da marca Lippel®, modelo BL 85, com capacidade de produção de 1.100kg por hora de briquetes. Cada briquete mede aproximadamente 30 cm de comprimento e 83 mm de diâmetro. A pressão média exercida por impulsão é de aproximadamente 6 a 8 ton.força⁻¹, isso faz com que a

temperatura chegue até 150°C, promovendo a compactação dos resíduos. Não há utilização de aglomerantes artificiais.

A Figura 5 (a) e (b) ilustra, respectivamente, o perfil de uma briquetadeira Lippel®, modelo BL 85, e suas principais partes, e a briquetadeira utilizada na Cerâmica Bela Vista para a confecção dos briquetes.

Figura 5. A) Perfil da briquetadeira e suas principais partes; B) Briquetadeira utilizada na Cerâmica Bela Vista.



Fontes: A) Adaptada de (www.biomaxind.com.br); B) Autores (2013).

O comprimento dos briquetes é determinado em função da estrutura da esteira anexada à briquetadeira. A Figura 6 demonstra a saída do briquete da esteira no momento final da produção.

Figura 6 - Fase final da produção do briquete



Após produzido o briquete, ocorrem a embalagem e o armazenamento (figura 7).

Figura 7. A) Embalagem dos briquetes; B) Estocagem dos briquetes.

(A)



(B)



2.4 Queima dos produtos cerâmicos

Toda a queima dos produtos na Cerâmica Bela Vista é realizada em forno intermitente, de chama reversível, denominado forno abóbada ou redondo. Atualmente, na cerâmica, estão em operação 05 fornos desse tipo. Todos os fornos apresentam largura interna de 8,50m; altura, na parte mais alta da abóboda, de 3,70m, e espessura da parede de 1,45m. Possuem 06 câmaras de combustão e 2 portas para carregamento e descarregamento.

Para cada tratamento foram realizadas duas queimas, em fornos distintos, onde foram queimados os produtos: telhas coloniais extrusadas, tijolos de oito furos e blocos de lajes em proporções de, aproximadamente, 90%, 9% e 1%, respectivamente. O controle da temperatura no interior do forno foi realizado por meio de 3 termopares instalados na parte superior. A alimentação das câmaras de combustão foi realizada duas vezes a cada hora, aproximadamente em uma câmara de combustão distinta.

A alternância de alimentação entre lenha e briquete ocorreu com base nas alterações de temperatura em função do tempo. Nas fases durante as quais a temperatura se elevava em intervalo de tempo maior, os operadores priorizavam o uso do briquete para alimentar as câmaras de combustão para que, assim, as temperaturas desejadas fossem mais rapidamente alcançadas.

A chamada “queima” dos produtos ocorre em fases. Inicialmente ocorre o aquecimento dos fornos que varia entre 14e21 horas, considerando o início da combustão até a temperatura alcançar 850°C. Quando a temperatura se estabiliza entre 850°C e

980°C, ocorre a considerada fase de queima propriamente dita, a qual transcorre no intervalo de tempo que varia entre 34 e 37 horas. A partir daí não haverá mais alimentação das câmaras de combustão, dando início então à fase de resfriamento dos fornos, que transcorre no intervalo que varia entre 5 e 6 dias.

Foram registradas as temperaturas alcançadas, a cada hora, a massa de cada combustível utilizada na queima, o aspecto da lenha e os tempos totais de aquecimento, queima e resfriamento. Registrou-se também a qualidade e classificação dos produtos desenformados após resfriamento.

Para aferir a massa da lenha e dos briquetes, foram utilizados carroções para amostragem da quantidade de combustível durante as fases de alimentação das câmaras de combustão. Nas Figuras 8 (a) e (b), são mostrados, respectivamente, imagem do carroção abastecido de lenha para ser levada às câmaras de combustão e a imagem do carroção fechado.

Figura 8. A) Carroção abastecido de lenha para ser levada às câmaras de combustão dos fornos abóbodas na Cerâmica; B) Carroção fechado



A partir da Figura 9, é possível observar, de modo geral, a estrutura dos fornos presentes no pátio fabril da cerâmica Bela Vista onde foram realizadas as queimas dos produtos cerâmicos.

Figura 9. Forno tipo abóboda utilizado para queima dos produtos cerâmicos na Cerâmica Bela Vista no município de Parelhas/RN e especificações das suas principais partes.



Durante o processo de queima dos produtos, o controle da operação adotado foi o de controle das temperaturas que são registradas em um sistema dotado de painel ligado aos termopares. Na Figura 10 está ilustrada a imagem do painel de registro das temperaturas aferidas nos termopares distribuídos na estrutura dos fornos abóbodados.

Figura 10 - Painel de registro das temperaturas aferidas nos termopares.



2.5 Resfriamento, desenformamento e classificação dos produtos

Durante o resfriamento foram utilizadas as chamadas ventoinhas, que são grandes ventiladores direcionados às portas do forno, de modo a contribuir para reduzir o tempo

de resfriamento quando as portas já foram abertas. As temperaturas chegam a 450°C e as ventoinhas permanecem ligados por 72 horas. Nas Figuras 11(a) e (b), são demonstradas, respectivamente, a ventoinha sendo utilizada durante a fase de resfriamento dos fornos e seu modo de utilização.

Figura 11. A) Ventoinha utilizada na cerâmica Bela Vista durante a fase de resfriamento dos fornos; B) Modo de utilização da ventoinha



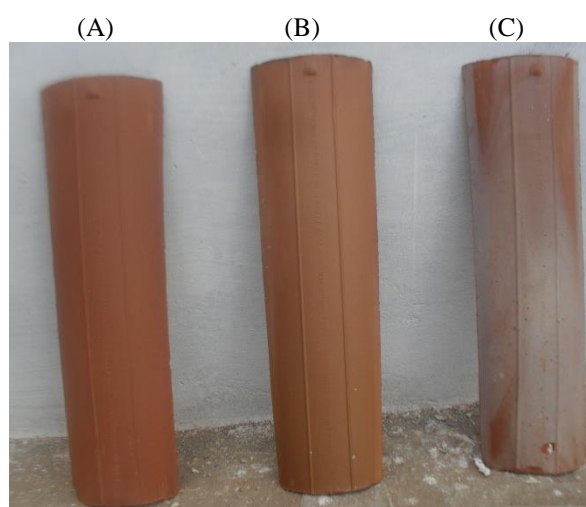
A fase de desenformamento dos produtos cerâmicos ocorreu logo após o processo de resfriamento dos fornos sob temperatura média de 110°C. Por meio da Figura 12 é mostrado o interior do forno abóboda durante a fase de desenformamento dos produtos cerâmicos.

Figura 12. Desenformamento de telhas nos fornos abóboda



A classificação dos produtos foi realizada como de primeira, segunda e terceira qualidade, conforme critérios referentes à cor e deformações no produto, como empenamentos e/ou assimetrias em geral. As telhas consideradas de primeira possuem cor avermelhada homogênea e aspecto liso, sem nenhuma deformação. As de segunda apresentam variações de cor e pequenos empenamentos. Nas telhas de terceira as falhas são bem mais aparentes, onde os empenamentos, presença de manchas e assimetrias são muito evidentes. A Figura 13 ilustra imagens de telhas de primeira, segunda e terceira qualidade de acordo com os parâmetros acima citados.

Figura 13. A) Telha de primeira qualidade; B) Telha de segunda qualidade; C) Telha de terceira qualidade



2.6 Preparo das Amostras da Madeira e dos Briquetes para Análises Laboratoriais

A amostragem para avaliação das características da madeira foi realizada cada vez que a madeira era direcionada para alimentação das câmaras de combustão, tendo como referência o diâmetro das peças, sendo assim retiradas peças com menor diâmetro, diâmetro médio e de maior diâmetro. As amostras foram correspondentes a 06 discos, variando entre 08 a 19 cm de diâmetro. Foram coletadas 12 amostras de madeira por tratamento.

Durante a amostragem dos briquetes foram coletadas 02 amostras, a cada 30 minutos, durante o processo produtivo da fábrica, por um período ininterrupto de 2 horas e meia. Ao final foram totalizadas 10 amostras enviadas para análise. As amostras de madeira e briquetes foram enviadas para o Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa – MG para determinação das características físicas e

do poder calorífico. As determinações da umidade e densidade da madeira foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFRN.

2.7 Avaliação das Propriedades da Madeira e dos Briquetes

A determinação da umidade das amostras foi realizada a partir da aferição das massas no momento da amostragem. Em seguida o material foi levado à estufa com temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante.

Os valores da umidade foram obtidos a partir da equação: $U = \frac{Mu - Mo}{Mo} \cdot 100$. Em que, U = Teor de umidade em %; Mu = Massa da amostra úmida; e Mo = Massa da amostra seca de acordo com a Norma ABCP M2/71.

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984). Os valores foram calculados a partir da média aritmética das densidades dos respectivos discos.

A densidade aparente dos briquetes foi determinada pelo método de imersão em mercúrio (Hg), de acordo com a norma NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003).

O poder calorífico superior da madeira e dos briquetes foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. As amostras foram trituradas e classificadas em peneiras de 40/60 mesh (ASTM, 1982). Para a madeira, as amostras foram inicialmente transformadas em cavacos e trituradas em Moinho de Facas Tipo Willey. As frações das amostras foram, então, peneiradas. Aquelas retidas na peneira de 60 mesh foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante, para a determinação do poder calorífico superior, tanto da madeira quanto dos briquetes.

A biomassa utilizada em cada tratamento foi determinada com base na massa de combustível (lenha e briquete) subtraída a umidade de cada combustível, de acordo com a seguinte equação:

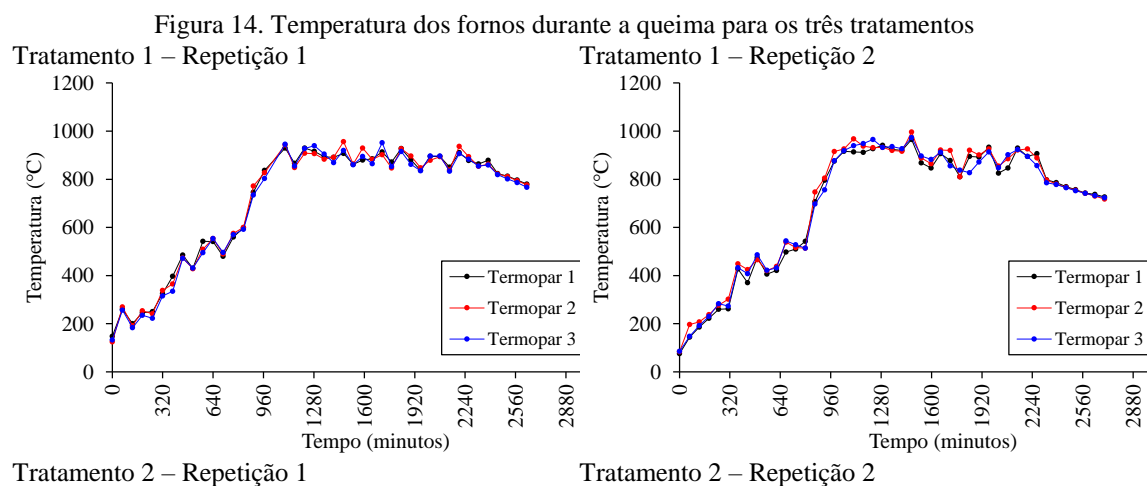
$$\text{Biomassa total} = \left[\text{massa de lenha} * \left(1 - \frac{\text{Umidade da lenha}}{100} \right) \right] + \left[\text{massa de briquete} * \left(1 - \frac{\text{Umidade do briquete}}{100} \right) \right]$$

Em que biomassa total é expressa em kg, umidade é expressa em % e massa expressa em kg.

Para realização da análise estatística foi, inicialmente, feita análise gráfica da temperatura dos fornos em função do tempo de aquecimento e queima, sendo avaliadas duas repetições por tratamento. Em seguida comparou-se graficamente o comportamento médio das temperaturas entre os três tratamentos propostos. A umidade da lenha utilizada em cada um dos três tratamentos foi comparada estatisticamente. Inicialmente os dados foram submetidos aos testes de *Lilliefors* para testar a normalidade, e *Cochran* para testar a homogeneidade das variâncias. O mesmo foi feito para a umidade dos briquetes dos tratamentos 2 e 3, densidade básica da lenha (trat. 1, 2 e 3) e densidade aparente dos briquetes (trat. 2 e 3). Após estimar o consumo de biomassa por ciclo de queima de cada repetição, os três tratamentos também foram comparados. Os tratamentos foram submetidos ao teste *F*, sendo as médias de cada variável comparadas pelo teste Tukey. Considerou-se sempre o nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Statistica 8.0 (STATSOFT, INC, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 14 e 15, são apresentadas, respectivamente, as representações gráficas dos resultados das temperaturas alcançadas nos fornos abóboda durante as fases de aquecimento e queima, e o início da fase de resfriamento em todos os tratamentos para cada repetição. São também apresentados o tempo total decorrido para as fases de aquecimento e queima durante os processos, e a comparação gráfica entre o tempo e a temperatura entre os três tratamentos propostos.



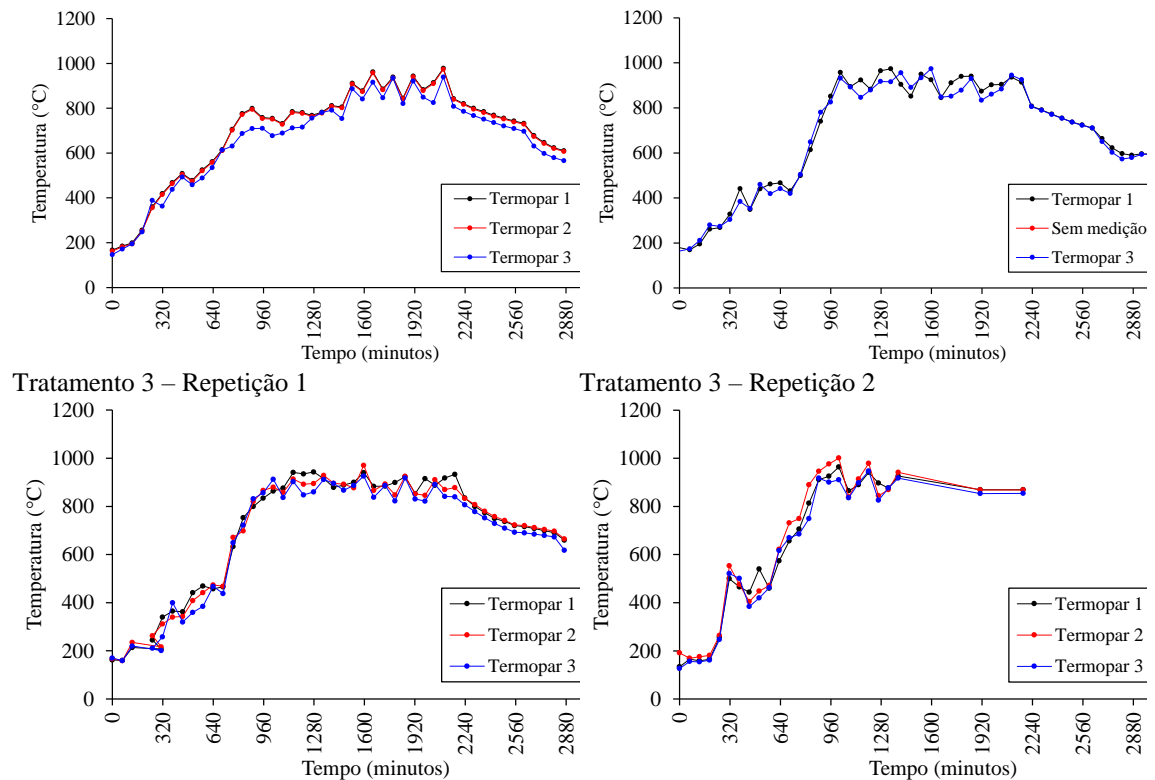
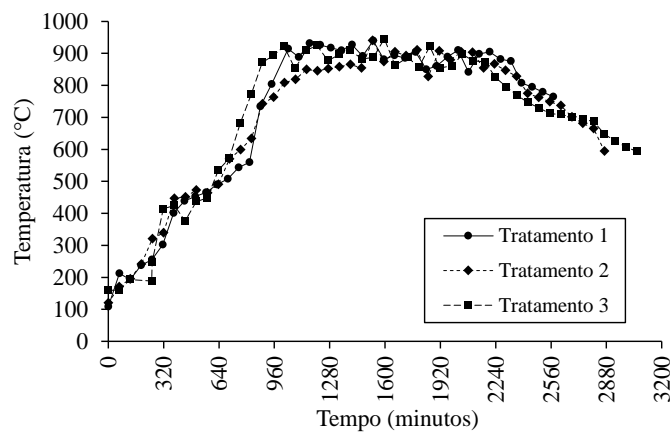


Figura 15. Temperatura média dos fornos durante a queima, para os três tratamentos



Na Tabela 3 são mostrados os valores médios, por tratamento, para os tempos totais das fases de aquecimento, queima e resfriamento e as temperaturas máximas alcançadas.

Tabela 3. Temperatura máxima atingida no forno, tempo total, de aquecimento e de resfriamento médio por tratamento aplicado na Cerâmica Bela Vista

	Treatment I	Treatment II	Treatment III
Temperatura máxima do forno (°C)	976	976	986
Tempo total para o aquecimento do forno (minutos)	975	1241	889,5
Tempo total de queima (min)	2220	2100	2070
Tempo total de Resfriamento (min)	7200	9600	9000

Conforme pode ser observado na Tabela 3, no tratamento 1, no qual foi utilizado 100% lenha como combustível para a queima dos produtos, observou-se que o tempo médio decorrido para a fase de aquecimento foi correspondente a 975 minutos, ou aproximadamente 16 horas. Para a fase de queima, esse tempo foi de 2220 minutos ou 37 horas, e para a fase de resfriamento 7200 minutos ou 120 horas (5 dias).

Pode-se observar na Figura 14 que, para o tratamento 1, as temperaturas registradas nos 3 termopares localizados na parte superior dos fornos foram semelhantes, dentro das repetições, e que para as referidas fases decorridas nos tempos correspondentes as temperaturas máximas alcançadas foram acima de 800⁰C para o aquecimento e para a queima acima de 900⁰C. A partir de 976⁰C, foi cessada a alimentação das câmaras de combustão dando início então à fase de resfriamento dos fornos. Não há registro das temperaturas nos termopares até a fase final de resfriamento, no entanto é possível inferir, ainda, que decorridos 480 minutos ou 8 horas depois de cessada a alimentação das câmaras de combustão, as temperaturas médias chegaram a 800⁰C.

No tratamento 2, no qual foi utilizada uma porcentagem média de 30% de briquetes associado à lenha para a queima dos produtos, observou-se que o tempo médio decorrido para a fase de aquecimento foi correspondente a 1241 minutos ou aproximadamente 21 horas. Para a fase de queima, esse tempo foi de 2100 minutos ou 35 horas, e para a fase de resfriamento 9600 minutos ou 160 horas, aproximadamente 6 dias (Tabela 3).

Observa-se na repetição 1 do tratamento 2 que um dos termopares registrou temperaturas inferiores aos outros em uma determinada área da parte superior dos fornos para o mesmo intervalo de tempo, evidenciando que houve heterogeneidade de temperatura durante essa queima. Para esse tratamento, as temperaturas médias totais alcançadas para as fases de aquecimento foram abaixo de 800⁰C e para a queima acima de 900⁰C. Assim como para o tratamento 1, nesse tratamento a temperatura máxima alcançada foi de 976⁰C. É possível inferir ainda, a partir da Figura 14, que decorridos em média 940 minutos, aproximadamente 15 horas, depois de cessada a alimentação das câmaras de combustão, as temperaturas médias chegaram a aproximadamente 600⁰C.

No tratamento 3, no qual foi utilizada uma porcentagem média de 41% de briquetes associado à lenha para a queima dos produtos, observou-se que o tempo médio decorrido para a fase de aquecimento foi correspondente a 889,5 minutos ou aproximadamente 14 horas. Para a fase de queima esse tempo foi de 2070 minutos ou aproximadamente 34 horas, e para a fase de resfriamento 9000 minutos ou 150 horas,

aproximadamente 6 dias, reduzidas 10 horas quando comparado ao tempo observado para o resfriamento no tratamento 2 (Tabela 3).

De modo geral, a Figura 15 ilustra que as temperaturas médias durante a queima não diferem entre os tratamentos, indicando que o material combustível utilizado não interferiu nas taxas de aquecimento durante a queima das cerâmicas.

As temperaturas máximas mais elevadas, 986⁰C, foram observadas quando foram utilizados 41,1% de briquetes associados à lenha (tratamento 3). Para os tratamentos 1 e 2, foram observadas as mesmas temperaturas máximas (976⁰C) durante o processo de queima dos produtos. O tempo decorrido para a fase de aquecimento dos fornos foi menor (aproximadamente 16 horas) quando foi utilizado 100% lenha (tratamento 1), e o maior (aproximadamente 21 horas) quando utilizou-se como combustíveis 30% briquetes associados à lenha (tratamento 2). O tempo observado para a fase de queima foi menor (aproximadamente 34 horas) quando foram utilizados 41% de briquetes associados à lenha, e maior (37 horas) quando foi utilizado 100% lenha como combustível. O tempo total da fase de resfriamento dos fornos foi menor (5 dias) quando foi utilizado 100% lenha (tratamento 1), e 6 dias para os tratamentos 1 e 2, sendo que foram decorridas 10 horas a mais quando foi utilizado 30% de briquetes associados à lenha.

O resultado encontrado para as maiores temperaturas alcançadas ao ser utilizado maior porcentagem de briquetes associados à lenha corrobora com os resultados observados por Omer (2005), citado por Morais (2007). O autor ressalta como vantagens dos combustíveis densificados, quando comparados à lenha, menor volume, teor de umidade mais constante e alto poder calorífico líquido. Quirino (1991) também enfatiza vantagens para a utilização de resíduos densificados ao referir que a briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa. O autor ainda cita que 1m³ de briquete contém, pelo menos, 5 vezes mais energia que 1m³ de resíduos, considerando-se a densidade a granel e o poder calorífico.

Provavelmente a utilização de resíduos densificados na forma de briquetes colaborou para maiores temperaturas nos fornos a partir de maiores porcentagens de utilização dos mesmos para queima dos produtos cerâmicos.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados das proporções e do consumo, em quilograma, de lenha e briquetes utilizados em cada tratamento como combustíveis na Cerâmica Bela Vista durante o processo de produção, como também a qualidade dos produtos e as porcentagens de perdas de acordo com os parâmetros da empresa.

Tabela 4– Qualidade dos produtos, perdas (%) e consumo de lenha e briquetes (kg), por tratamento, utilizados como combustíveis na Cerâmica Bela Vista

	Tratamento I	Tratamento II	Tratamento III
Lenha utilizada como combustível (%)	100	70	58,9
Briquetes utilizados como combustível (%)	-	30	41,1
Consumo de lenha (kg)	15.540	10.540	9.720
Consumo de briquete (kg)	-	4.600	6.500
Produtos de primeira qualidade (%)	46,55	23,35	25,75
Produtos de segunda qualidade (%)	52,65	74,6	70,45
Produtos de terceira qualidade (%)	0,15	0,4	0,35
Perdas (%)	0,65	1,7	3,45

Como pode ser observado a partir da Tabela 3, para o tratamento 1 foi utilizado como combustível durante o processo de produção da cerâmica vermelha somente a lenha com consumo total médio entre as repetições de 15.540Kg resultando em 46,55% de produtos de primeira qualidade, 52,65% de segunda qualidade e 0,15% de terceira qualidade. No tratamento 2, utilizou-se 30% de briquetes associados à lenha como combustíveis com consumo médio de 4.600Kg de briquetes e 10.540Kg de lenha, resultando em 23,35% de produtos de primeira qualidade, 74,6% de segunda qualidade e 0,4% de terceira qualidade. No tratamento 3, foi utilizado 41% de associação de briquetes à lenha com consumo médio de 6.500Kg de briquetes e 9.720Kg de lenha, resultando em 25,75% de produtos de primeira qualidade, 70,45% de segunda qualidade e 0,35% de terceira qualidade. As perdas foram de 0,65% para o tratamento com 100% de lenha, de 1,17% para o tratamento com 30% de briquetes associados à lenha e de 3,45% para o tratamento com 41% de associação de briquetes à lenha.

De acordo com o Instituto Nacional de Tecnologia (2012), a queima de produtos cerâmicos em fornos abóboda pode ser controlada de modo que resulte em produtos de melhor qualidade, embora, segundo o estudo, não haja homogeneidade de distribuição do calor nas partes inferiores do forno, além das temperaturas raramente alcançarem patamares acima de 700°C, o que gera produtos de qualidade inferior. No entanto, para esse estudo não houve comparação em relação ao tipo de combustível utilizado.

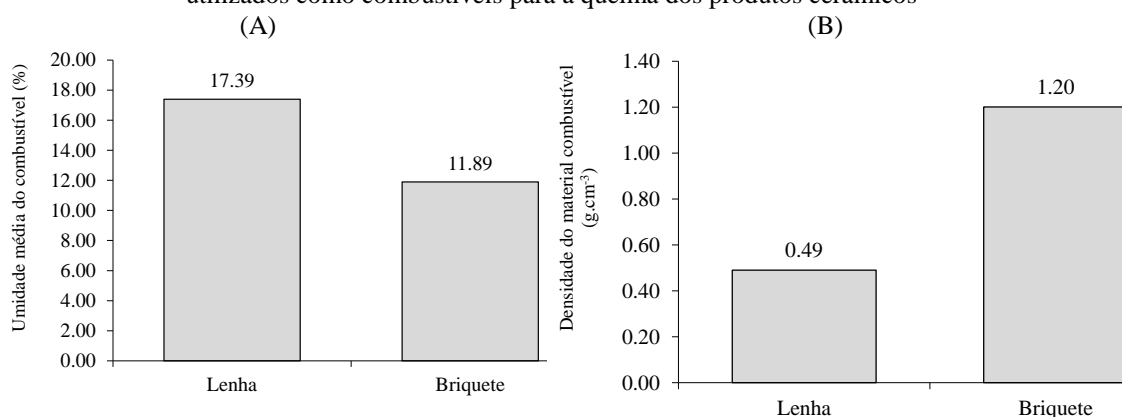
Como pode ser observado, ao ser utilizado como combustível 100%lenha, a porcentagem de produtos de primeira qualidade foi maior, com menor porcentagem de perdas. Esse fato, provavelmente, está relacionado à falta de experiência em relação ao controle de alimentação das câmaras de combustão com um combustível de maior densidade energética, como é o caso dos briquetes, levando a variações bruscas de temperaturas quando o forno recebe esse combustível. Essa consequência é pronunciada

ao avaliar a maior porcentagem de perdas para uma maior proporção de utilização dos briquetes durante a queima dos produtos.

Vale ressaltar que, segundo o proprietário, o foco da Cerâmica Bela Vista é a produção das telhas de segunda qualidade em função do mercado consumidor já estabelecido. O tratamento que apresentou a maior porcentagem de telhas de segunda qualidade foi aquele que se utilizou 30% de briquetes associados à lenha como combustíveis.

Nas Figuras 16(a) e 16(b) e 17, estão apresentados, respectivamente, os resultados da umidade, densidade básica, densidade aparente e poder calorífico superior dos combustíveis utilizados no estudo.

Figura 16. A) Umidade (%); B) densidade básica da lenha e densidade aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) dos briquetes utilizados como combustíveis para a queima dos produtos cerâmicos



Não houve diferença significativa para a umidade e poder calorífico da lenha e dos briquetes entre os três tratamentos. O mesmo foi observado para a densidade básica da madeira e densidade aparente dos briquetes entre os três tratamentos.

Conforme pode ser observado nas Figuras 16 (a) e (b), os valores médios encontrados para teores de umidade da lenha e dos briquetes foram, respectivamente, 17,39% e 11,89%. Para a densidade básica da lenha, foram encontrados valores médios equivalentes a $0,49\text{g}/\text{cm}^3$, e para a densidade aparente dos briquetes $1,20\text{ g}/\text{cm}^3$. De acordo com Pereira (2000), para que ocorra uma combustão eficiente, a madeira deve ser utilizada com teores de umidade abaixo de 25%, visto que a queima da madeira úmida proporciona menos energia devido ao consumo no aquecimento e vaporização da água.

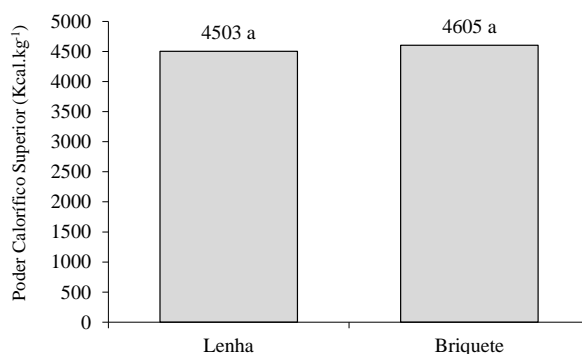
Paula (2010), ao estudar características de briquetes produzidos a partir de diferentes fontes de biomassa, observou umidade média de 12%, valor bem próximo ao observado no presente estudo. De acordo com Gentil (2008), a umidade de briquetes deve

estar entre 5% e 15%, sendo 8% considerada umidade ideal para uso energético desse insumo. A norma austríaca ONORM M 7135:2000, estabelece teor de umidade ideal para briquetes equivalente a 10% (base úmida).

Quando se compara a densidade do briquete com a densidade da madeira, de modo geral, a primeira é sempre superior à segunda. Serimar (2013) avaliou e comparou as densidades da lenha e do briquete e encontrou valores correspondentes a $0,50 \text{ ton/m}^3$ para a densidade da lenha, e 1.226 ton/m^3 para a densidade dos briquetes. Maior densidade presente no combustível proporciona, de modo geral, maior densidade energética durante o processo de combustão, visto que para essa condição haverá mais massa por unidade de volume a ser convertida em energia.

Na Figura 17 estão apresentados os valores do poder calorífico superior da lenha e dos briquetes em kcal/Kg.

Figura 17. Poder calorífico superior da lenha e dos briquetes (kcal/Kg)



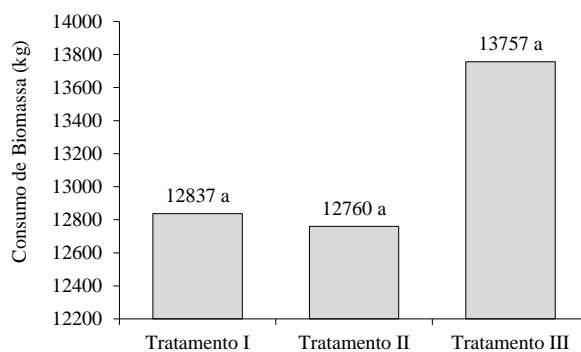
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios encontrados para o poder calorífico da lenha e dos briquetes foram equivalentes, respectivamente, a 4.503Kcal/kg e 4.605Kcal/kg. O poder calorífico do briquete está dentro da faixa de valores observados por Capote (2012) ao analisar briquetes produzidos a partir de resíduos de serraria, os quais variaram entre 4281 Kcal/kg e 4632 Kcal/kg. Silva (2007), analisando briquetes confeccionados com resíduos de madeira, encontrou valor equivalente a 4133 kcal/kg.

Pereira (2000), Quirino (2004) e Brand (2010) relatam que o teor de umidade, a densidade e o poder calorífico são importantes aspectos a serem considerados no que diz respeito à qualidade da biomassa visando produção de energia, pois esses parâmetros determinarão o calor gerado pelo combustível durante o processo de conversão.

Na Figura 18 são apresentados os resultados do consumo da biomassa, por ciclo de queima, nos três tratamentos.

Figura 18. Consumo de biomassa médio por ciclo de queima entre os três tratamentos avaliados



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Não houve diferença significativa no consumo médio da biomassa entre os tratamentos, havendo, no entanto, maior consumo de combustível quando os briquetes foram utilizados na proporção de 41% em associação à lenha e menor consumo ao ser associado 30% de briquetes à lenha durante a fase de queima dos produtos cerâmicos.

Morais (2007) avaliou o consumo de biomassa durante a queima de produtos cerâmicos utilizando lenha e briquetes e concluiu que, para a mesma produtividade, ao ser utilizado lenha no processo de queima, o consumo foi de 3.234kg, enquanto que para a queima realizada com briquete, o consumo foi de 2.498kg, sendo, portanto, maior observado quando foi utilizado lenha para a queima dos produtos. Silveira (2008) avaliou os mesmos combustíveis consumidos em padarias e pizzarias e observou valores mensais equivalentes a 3,08ton/mês em pizzarias e 3,92ton/mês em padarias para o consumo de lenha, e comparando com briquetes nos mesmos estabelecimentos foram encontrados valores equivalentes a 1,5ton/mês e 2,0ton/mês, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Durante a fase de aquecimento dos fornos, o maior intervalo de tempo observado foi quando utilizou-se 30% de briquetes associados à lenha, o mesmo ocorreu para o tempo de resfriamento, e o menor tempo, foi observado quando utilizou-se 100% de lenha. O maior intervalo de tempo na fase de queima foi observado ao ser utilizado 100% de lenha e o menor intervalo, assim como as maiores temperaturas, quando foram utilizados

41% de briquetes associados à lenha. As temperaturas máximas foram observadas quando utilizou-se 100% de lenha. As maiores porcentagens de produtos de primeira qualidade foram observadas ao ser utilizado 100% de lenha e as menores no tratamento com 30% de briquetes associados à lenha. As maiores porcentagens de produtos de segunda e terceira qualidades qualidade foram observadas no tratamento com 30% de briquetes associados à lenha. As porcentagens de perdas foram maiores ao ser utilizado 41% de briquetes associados à lenha. Não houve diferença entre a umidade e o poder calorífico da lenha e dos briquetes, nem tampouco entre a densidade básica da lenha e a densidade aparente dos briquetes, entre os tratamentos. Não houve diferença significativa no consumo médio de combustível entre os tratamentos avaliados. Indica-se a porcentagem de associação de briquetes à lenha de 30%, com base, especialmente, na semelhança de consumo específico quando comparado aos demais tratamentos e no perfil de comercialização da Cerâmica Bela Vista.

É viável a utilização de briquetes associados à lenha como fonte alternativa de energia em fornos abóboda, especialmente para diversificar a matriz energética do setor de cerâmica vermelha na Região do Seridó no Estado do Rio Grande do Norte, e para colaborar na redução da pressão sobre o bioma caatinga no semiárido potiguar. Indica-se a necessidade de estudos em relação ao intervalo ideal de alimentação das câmaras de combustão ao se utilizar maiores porcentagens de briquetes associados à lenha, visto o menor tempo de queima para esse tratamento, assim provavelmente haveria mais linearidade no controle dos patamares de temperatura evitando maiores perdas de produtos na fase de queima. Recomenda-se análises específicas dos briquetes confeccionados na Cerâmica Bela Vista visando possíveis ajustes no processo de produção, assim como controle de umidade do resíduo, o que resultaria em melhor qualidade do produto. Recomenda-se a análise econômica do uso de briquetes como fonte alternativa de energia pelo setor cerâmico a partir dos dados observados nesse estudo de caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SERIDÓ. *Diagnóstico do uso da lenha nas atividades agroindustriais do território do Seridó/RN*. Caicó, 2008. 130p.

ALMEIDA, F. A. Briquete – alternativa energética para fornos ecologicamente corretos. 2004. Disponível em <http://www.fiec.org.br/artigos/energia/briquete.htm>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard method for chemical analysis of charcoal*. Philadelphia, 1982. 1042 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8633: carvão vegetal: determinação do poder calorífico*. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. *NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade Básica NBR 11941 ABNT*. Rio de Janeiro. 2003.

BRAND, M. A. *Energia de biomassa florestal*. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

CAPOTE, F. G. *Caracterização e classificação de co-produtos compactados da biomassa para fins energéticos*. 2012. Dissertação (Mestrado Interinstitucional em Bioenergia) – Universidade Federal do Paraná, PR, 73p. 2012.

CNPJ- CADASTRO NACIONAL DE PESSOA JURÍDICA, 2012.

GARMIN. GPSMAP 76CSx mapping GPS. 2009.

GENTIL, L. V. B. *Tecnologia e economia do briquete de madeira*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Publicação EFL TD. Departamento de Engenharia Florestal. Universidades de Brasília. Brasília. DF, 195p. 2008.

IBGE.INSTITUTOBRASILEIRODEGEOGRAFIAEESTATÍSTICA.Censo2010.Disponível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Consultado em 29/03/2013.

INT-Instituto Nacional de Tecnologia. *Estudo comparativo dos fornos tipo caipira x tipo abóboda*. Rio de Janeiro, 2012.

INT-Instituto Nacional de Tecnologia. *Avaliação de desempenho térmico de forno do tipo abóboda*. Rio de Janeiro, 2012.

MME. Ministério das Minas de Energia. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea*. Diagnóstico do município de Parelhas. Recife, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/rgnorte/relatorios/PARE179.PDF>. Acesso em: 21/04/2013.

MORAIS, D. M de. *Briquetes de resíduos ligno-celulósicos como potencial energético para a queima de blocos cerâmicos: aplicação em uma indústria de cerâmica vermelha que abastece o Distrito Federal*. 2007. 26 f. Tese (Tese de doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2007.

NASCIMENTO, Waldécio Sávio dos Anjos do. *Avaliação dos Impactos Ambientais Gerados por uma Indústria de Cerâmica Típica da Região do Seridó*. 2007. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

OMER, A. M. *Biomass energy potential and future prospect in Sudan*. Renewableandsustainableenergyreviews, n. 9, p. 1- 27, 2005.

PAULA, L.E de R e. *Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos*. 2010. 72p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, Lavras, 2010.

PEREIRA, J. C. D. et al. *Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Para, 2000.

PEREIRA, I. M., ANDRADE, L. A. de, COSTA, J. R. M. Regeneração natural em um remanescente de Caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste paraibano. *Acta Bot. São Paulo*, v.15, n.3, p.413-426, set/dez. 2001.

QUIRINO, W. F. Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão. 1991. 80 f. (Dissertação de Mestrado apresentada à ESALQ/LISP para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais). Piracicaba, janeiro, 1991.

QUIRINO, W. F. *Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos*. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2004. 10p.

SEBRAE. Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Norte. *Diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha do Rio Grande do Norte*: relatório final. 2013. Natal: SEBRAE/RN, 2013. 88 p.

SERIMAR – Lenha ecológica. *Briquete, dados técnicos e vantagens*. Disponível em http://www.lenhaecologica.com.br/se_produto.htm. Acesso em: 21/05/2013.

SILVA, D.A. Análise laboratorial para avaliação da qualidade de briquetes para fins energéticos para empresa Bripell.Fupez. Curitiba. 2007. Acesso 22/05/2013. Disponível em:

<http://bripell.com/analises/Analise%20Briquetes_Universidade%20Federal%20do%20Paran%E1.pdf>

SILVEIRA, Monica Silva. Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador, BA, 163p. 2008.

STATSOFT INC. *STATISTICA (data analysis software system), version 8*. 2009. Disponível em: <<http://www.statsoft.com.br/pt/downloads.php>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

VITAL, B. R. *Métodos de determinação de densidade da madeira*. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).