

Sistema alternativo para carbonização de madeira

Alternative system for wood carbonization

Claudinéia Olimpia de Assis¹, Paulo Fernando Trugilho²,
Lourival Marin Mendes³, José Reinaldo Moreira da Silva³ e José Tarcisio Lima²

Resumo

A eficiência da produção de carvão vegetal é uma atividade que depende da espécie de madeira, do tipo de mão-de-obra e do sistema de produção. O sistema de produção deve proporcionar uma adequada condição de trabalho, procurando estabelecer estratégias para minimizar a duração do ciclo da carbonização, sem alterar o rendimento e a qualidade do carvão vegetal produzido. Este estudo teve como objetivo, testar, avaliar e ajustar um sistema alternativo para a carbonização da madeira, em escala piloto, incluindo a construção e teste de um protótipo. Foram utilizadas madeiras de *Eucalyptus* spp. com 1,15m de comprimento e diâmetro variando de 6cm a 15cm. Na avaliação geral do sistema foram realizados doze testes, sendo os dois primeiros para promover ajustes e mudanças no sistema, visando melhorar o seu desempenho. Após estas alterações, foram realizados quatro testes, para a comprovação da eficiência do sistema modificado; em seguida, foi instalado um medidor de temperatura multicanal de seis pontos, com seis pares termoeletrônicos para a verificação do perfil térmico do forno. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que o tempo médio de esfriamento foi de 13h e 38 h para a condição de esfriamento fora e dentro da unidade isolante. Observou-se, assim, uma redução de 73,33% no tempo de esfriamento. A produtividade física do sistema apresentou média de 4,35 kg/h e 2,0 kg/h, para o esfriamento fora e dentro da unidade isolante, respectivamente. O teor médio de carbono fixo, considerando somente os testes realizados com os pares termoeletrônicos, foi de 71,77%, independentemente da forma de esfriamento da unidade de produção de carvão. Este teor de carbono fixo indica que a temperatura final de carbonização média ficou em torno de 450°C. A estimativa da densidade relativa aparente do carvão não apresentou diferenças significativas em função do método de determinação utilizado.

Palavras-chave: Carvão vegetal, Madeira, *Eucalyptus*

Abstract

The production efficiency of the charcoal is an activity which depends on the wood species, the kind of workmanship and the production system. The production system must warrant an adequate working condition, trying to establish strategies for minimizing the time of the carbonization cycle, without altering the yield and quality of the produced charcoal. The objective of this study was to test, evaluate and adjust an alternative system for wood carbonization in a pilot scale including the prototype construction and test. *Eucalyptus* spp. wood, 1.15 m long and with a diameter ranging from 6 cm to 15 cm, was used. In the evaluation of the system, twelve tests were performed; the first two to promote adjustments and changes in order to improve its performance. Later four tests were carried out to confirm the efficiency of the modified system using a six-score multichannel temperature meter, through the installation of six thermoelectric pairs for the verification of the thermal profile. According to the results, it was found that the average cooling times was 13 and 38 hours for the cooling condition inside and outside of the isolating unit. A reduction of 73.33% in the cooling time was found. The system presented an average of 4.35 kg/h and 2.0 kg/h for the cooling outside and inside the isolating unit, respectively. The average content of fixed carbon, considering only the tests performed with the thermoelectric pairs was of 71.77%, independently of the cooling form of the charcoal production unit. The content of fixed carbon indicates that the final temperature for average carbonization was around 450°C. The estimation of the apparent relative density of the charcoal didn't show significant differences due to the determination method used.

Keywords: Charcoal, Wood, *Eucalyptus*

¹Mestre pelo Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: claudineia21@yahoo.com.br

²Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: trugilho@ufla.br; jt@ufla.br

³Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: Lourival@ufla.br; jreinaldo@ufla.br

INTRODUÇÃO

No Brasil, existe a tradição do emprego dos recursos naturais renováveis como fonte de energia. A madeira, por exemplo, é amplamente utilizada para esta finalidade. A energia hidráulica, a madeira, o bagaço de cana e outras fontes primárias contribuem aproximadamente com 44,7% do total do consumo energético nacional. Somente, a madeira contribui com 13,1% do consumo total (BRASIL, 2006).

A biomassa florestal, além de ser um recurso renovável, ocupa grande extensão do território brasileiro e possui um riquíssimo potencial energético. Essas características provocam impacto positivo sobre outros recursos energéticos de custos mais elevados. Sendo assim, a maior parcela de carvão vegetal produzida e consumida no país provém de florestas plantadas, aproximadamente na relação de 75% para 25% originário de florestas nativas (AMS, 2006).

Outro fator importante é quanto ao sistema de carbonização a ser utilizado. Em termos práticos pode-se afirmar que a quase totalidade do carvão vegetal é obtida em fornos de alvenaria. Todavia, existe uma carência de alternativas viáveis economicamente para o desenvolvimento de protótipos de sistemas de carbonização que incorporem a ação tanto em relação ao aumento da produtividade, como na melhoria das condições de vida dos operários. Entretanto, a produção de carvão vegetal é uma atividade tradicional e econômica de importância crescente no Brasil e em muitos países em desenvolvimento, estimando-se que continuará crescendo significativamente no futuro. No Brasil, a produção de carvão vegetal atingiu o seu pico em 1989, quando foram produzidos 44,8 milhões de m³, comparado aos 26 milhões de m³ em 1996 e aos 25,4 milhões de m³ em 2000 (CALLE *et al.*, 2005). Os autores relataram que, a maior parte do carvão vegetal é produzida a partir de florestas nativas, mas nas duas últimas décadas tem havido a substituição gradual destas pelas madeiras oriundas de florestas plantadas.

Hoje o Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo. Em 2005, o país produziu 9,7 milhões de toneladas (40 milhões de m³), correspondendo a aproximadamente 25% da produção mundial. A madeira de reflorestamento correspondeu a 75% da matéria-prima para a produção de carvão vegetal (AMS, 2006).

Aproximadamente 90% do carvão vegetal produzido no Brasil é utilizado no setor siderúrgico (PINHEIRO *et al.*, 2006). Destacando-se,

no cenário nacional o estado de Minas Gerais, como sendo o maior produtor e consumidor de carvão vegetal, em razão de seu parque siderúrgico, tendo consumido, em 2005, em torno de 67% da demanda nacional, que corresponde a 25,2 milhões de metros de carvão (AMS, 2007). Entretanto, a carbonização da madeira é um processo conhecido há pelo menos 10.000 anos, evoluindo muito pouco durante todo este tempo (PINHEIRO *et al.*, 2006).

Segundo Almeida e Rezende (1982), o objetivo maior da carbonização é aumentar o teor de carbono fixo na madeira por meio de tratamento térmico. Para que isso aconteça, é necessária a ocorrência de vários processos, tanto físicos como químicos. O processo de carbonização pode ser entendido ao se estudar o comportamento dos três principais componentes da madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina (OLIVEIRA *et al.*, 1982). Portanto, a carbonização é a transformação térmica da madeira na presença controlada de oxigênio ou ar, liberando duas frações uma gasosa e outra sólida (VALENTE e LELLES, 1986).

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar, testar e ajustar um sistema alternativo para carbonização de madeira em escala piloto.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foi projetado, construído, testado e ajustado o protótipo de um sistema alternativo para carbonização de madeira em escala piloto, o qual possui as seguintes partes:

Unidade de carvoejamento: é composta por uma caçamba metálica com capacidade para aproximadamente 1m³ de madeira roliça, com tampa metálica, contendo dimensões internas de 1,06m x 1,06m x 1,15 m. Utilizou-se na sua confecção chapa metálica do tipo SAE 1012 e de 6,3 mm de espessura.

Unidade isolante: estrutura confeccionada em alvenaria, com espessura de 18cm. Durante sua confecção procurou-se deixar uma folga de 5cm em relação à dimensão externa da caçamba. Esta unidade apresenta 1,50m de altura, e nela foi inserida a unidade de carvoejamento. A estrutura de alvenaria dispõe de uma porta metálica, revestida de lã de vidro para isolamento térmico. A unidade de carvoejamento foi retirada da unidade isolante, ainda quente, para que a etapa de resfriamento fosse realizada ao ar livre, reduzindo o tempo total de carbonização.

Câmara de combustão externa: todo o sistema foi operado com uma câmara de combustão externa. A câmara de combustão encontrava-se a 20 cm de profundidade do solo (abaixo do piso do forno) e apresentava 25 cm de largura, dispondo de uma porta metálica com revestimento isolante (lã de vidro), comunicando-se diretamente com a base do forno. A comunicação foi feita por meio de quatro entradas de gases quentes. Sob a porta encontrava-se uma abertura retangular de 25 cm x 5 cm, para a entrada de ar, controlada por uma válvula.

O protótipo foi construído nas dependências da Unidade Experimental de Secagem e Desdobro da Madeira, do Departamento de Ciências Florestais, na Universidade Federal de Lavras. Foram construídos quatro dutos de seção quadrada de 7,5 cm x 7,5 cm para entrada de ar quente no interior da unidade isolante, ligados na câmara de combustão. Foi construída uma chaminé, de tiragem central, com seção interna de 15 cm x 15 cm para a saída dos gases. As carbonizações foram feitas com madeira de *Eucalyptus* spp. existentes na Universidade Federal de Lavras. Antes das carbonizações foram selecionadas 10% do número total de peças, considerando-se as variações diametrais, as quais ficaram entre 6 cm e 15 cm, para a determinação da umidade da madeira enforada. Das peças previamente selecionadas foram retirados dois discos de 2,5 cm de espessura a $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ do seu comprimento. Os discos foram secos em estufa, com circulação forçada de ar, calibrada a uma temperatura de 105 ± 3 °C. Todas as peças usadas apresentaram comprimento de 1,15 m. Na avaliação geral do sistema foi realizado um total de doze testes, sendo que os dois primeiros serviram para promover ajustes e mudanças no sistema, visando melhorar o seu desempenho. Dessa forma, foram realizadas mudanças, as quais podem ser observadas na Figura 4.

Aberturas opostas com sistema de fechamento (janelas) na unidade de carvoejamento, para permitir a circulação de gases no seu interior (Figura 4a e 4b);

Alteração da entrada de gás quente da câmara de combustão para a unidade isolante (Figura 4e);

Construção de uma chaminé metálica e móvel de tiragem lateral e em formato de coifa (Figuras 4c, 4d e 4f).



Figura 1. Detalhes da unidade de carvoejamento ou câmba metálica com tampa.

Figure 1. Details of the charcoal production unit or metallic container with cover.



Figura 2. Detalhes da construção da unidade isolante.

Figure 2. Details of the construction of the insulating unit.



Figura 3. Detalhes da câmara de combustão externa.

Figure 3. Details of the external combustion chamber.

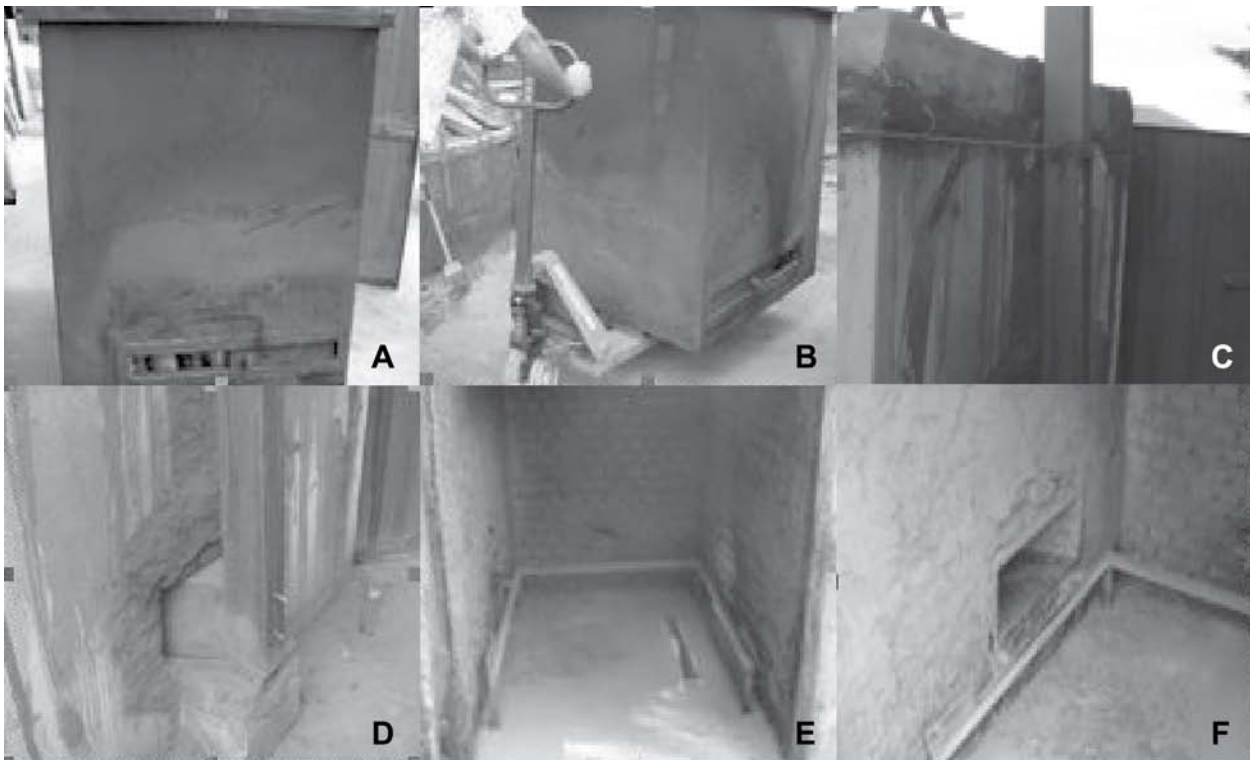


Figura 4. (a) unidade de carvoejamento carregada, (b) sistema de transporte e colocação na unidade isolante, (c e d) presença de uma chaminé metálica móvel, (e) abertura na entrada de gás na câmara e (f) abertura para a saída dos gases pela chaminé.
Figure 4. (a) unit of the loaded charcoal production unit, (b) transporting system and the loading of the insulating unit, (c and d) presence of a mobile metallic chimney, (e) opening of the gas entrance in the chamber and (f) exhaustion opening for chimney gases.

Em seguida, foram feitos mais quatro testes no sistema devidamente modificado. Após a realização destes testes e comprovação da eficiência do sistema modificado, foi instalado um medidor de temperatura multicanal de seis pontos, com seis pares termoeletrônicos para a verificação do seu perfil térmico. As posições dos termopares no sistema estão apresentadas na Figura 5.

Com a instalação dos pares termoeletrônicos foram realizadas mais seis carbonizações no sistema. Ao término das carbonizações todo o carvão vegetal foi medido e pesado, visando a determinação de rendimento. Posteriormente foram feitas as análises (físicas e químicas) utilizando os procedimentos apresentados na Tabela 1.

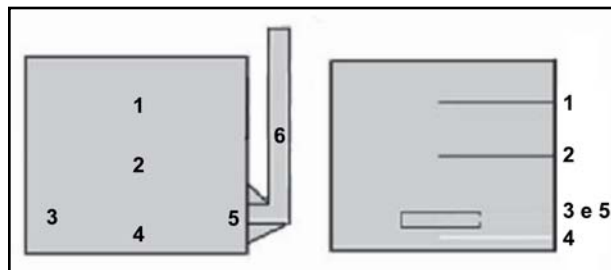


Figura 5. Esquema e distribuição dos pares termoeletrônicos na unidade de produção de carvoejamento.
Figure 5. Scheme and distribution of the thermoelectric couples in the charcoal production unit.

Tanto a madeira como o carvão vegetal produzido foi pesado em uma balança, tipo plataforma, com capacidade de 300 ± 1 kg. A relação volumétrica foi determinada, levando-se em con-

Tabela 1. Características avaliadas no carvão vegetal.
Table 1. Characteristics assessed in the charcoal.

Característica Avaliada	Método Usado
Densidade Relativa Aparente (g/cm^3) 167-73 da ABNT (adaptada)	Método 1: Segundo a norma 167-73 da ABNT (adaptada). Método 2: Hidrostático 167-73 da ABNT (Peneiras 38 mm). Método 3: Hidrostático 167-73 da ABNT (Peneira de 25 mm).
Teste de Tamboramento	Norma 1375-80 da ABNT
Análise Química Imediata	Norma 8112 da ABNT
Rendimento Gravimétrico (%)	$\text{RGC} = \text{PCS}/\text{PMS} \times 100$
Relação Volumétrica	Madeira/Carvão (m^3/m^3)
Produtividade Física (kg/h)	$\text{PFC} = \text{PCS}/\text{Tempo (h)}$
Classificação Granulométrica*	Norma 7405 da ABNT

* Foram utilizadas na classificação somente as peneiras de malha de 38, 25 e 12 mm.

* It was used in the classification only sieve with 38, 25 and 12 mm of mesh.

sideração o volume nominal da unidade de carvoejamento. As carbonizações foram conduzidas procurando manter a temperatura inicial de carbonização em torno de 200°C, a fim de não prejudicar a qualidade do carvão produzido, e assegurar uma temperatura final em torno de 450°C. O controle da temperatura foi obtido atuando-se na abertura da câmara de combustão, de acordo com as temperaturas registradas pelos termopares, reduzindo ou aumentando a entrada de ar para o interior da unidade de carvoejamento.

Na avaliação do experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado e o teste de Tukey para a comparação múltipla, onde se procurou avaliar o efeito da forma de esfriamento utilizado, do método de determinação da densidade relativa aparente do carvão, além dos rendimentos e sua qualidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores individuais das carbonizações realizadas no sistema modificado. Observa-se que, apesar da diferença entre as umidades da madeira dos testes conduzidos para esfriamento da unidade de carvoejamento fora (15,73%) e dentro (28,81%) da unidade isolante, os tempos de carbonização e os rendimentos gravimétricos (RGC) não sofreram diferenças significativas.

O tempo médio de esfriamento determinado com o auxílio dos pares termoeletricos foi 13 h e 38 h, para a condição fora e dentro da unidade isolante, respectivamente. Ou seja, obteve-se uma redução de 73,33% no tempo de esfriamento. O

rendimento gravimétrico médio da carbonização, com esfriamento fora e dentro da unidade de carvoejamento foi de 33,73% e 32,24%, respectivamente. Estes valores estão de acordo com aqueles obtidos nos trabalhos de Bastos Filho (1986), Ferreira (1988) e Trugilho *et al.* (1989). O teor médio de carbono fixo, considerando somente os testes realizados com os pares termoeletricos, foi de 71,77%, independentemente da forma de esfriamento da unidade de carvoejamento. Segundo Jacomino *et al.* (2002), as indústrias siderúrgicas brasileiras utilizam carvão vegetal com um teor de carbono fixo na faixa de 65% a 75%. O teor de carbono fixo e o teor de materiais voláteis não apresentaram diferenças significativas independentemente da forma de esfriamento. Verificou-se que os valores médios de densidade relativa aparente do carvão vegetal não apresentaram diferença significativa em função do método de determinação utilizado, indicando a confiabilidade nos mesmos. Observou-se ainda, pelo teste de tamboramento, que o esfriamento fora da unidade isolante tendeu a produzir um carvão vegetal ligeiramente mais friável, provavelmente provocado pelo choque térmico que o mesmo sofre nessa condição. Os valores obtidos para esta característica não apresentaram diferenças significativas independentemente da forma de esfriamento. Os valores de densidade relativa aparente do carvão vegetal estão compatíveis com aqueles normalmente encontrados na literatura (BASTOS FILHO, 1986; FERREIRA, 1988; TRUGILHO *et al.*, 1989 e SILVA *et al.*, 1996). Os valores do ensaio de tamboramento estão de acordo com os obtidos por Oliveira *et al.* (1982).

Tabela 2. Resultados médios das carbonizações realizadas para a avaliação do sistema.

Table 2. Average results of the carbonizations carried out to evaluate the system.

Testes	Umidade da lenha (%)	Tempo da carbonização (h)	Tempo de esfriamento (h)	Tempo total (h)	Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGC)	Prod. (kg/h)
1*	14,90	35	13	48	36,07	3,35
2*	14,70	35	19	54	28,61	2,39
3**	16,36	34	10	44	36,42	4,41
4**	16,94	26	10	36	33,83	4,28
Média	15,73	33a (71%)	13a (29%)	45	33,73A	3,61A
5***	18,40	48	33	81	28,69	1,58
6***	33,10	31	40	71	35,63	1,91
7****	38,21	36	36	72	34,90	2,52
8****	22,69	32	41	73	29,30	1,72
9****	25,89	35	40	75	32,02	2,01
10****	34,55	34	35	71	32,87	1,74
Média	28,81	36a (49%)	38b (51%)	74	32,24A	1,91B

*, ** Esfriamento fora da unidade isolante sem e com os pares termoeletricos, respectivamente. ***, **** Esfriamento dentro da unidade isolante sem e com os pares termoeletricos, respectivamente. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

*, ** Cooling outside the unit insulates without and with the thermoelectric couples, respectively. ***, **** Cooling within doors from the unit insulates without and with the thermoelectric couples respectively. Values followed as the same minuscule letters, in the row did not differ statistically by the Tukey test, at 5 % of probability.

As Figuras 6, 7 e 8 mostram o perfil térmico médio obtido pelos valores dos pares termoeletricos 1, 2 e 4 (média interna 1), dos pares termoeletricos 1, 2, 3, 4 e 5 (média interna 2). Veri-

ficou-se, ainda, que as temperaturas médias não foram discrepantes usando-se a média interna 1 e 2 em todos os testes, indicando um controle adequado do aquecimento do sistema.

Tabela 3. Resultado da densidade relativa aparente (DRA) e testes de tamboramento realizado no carvão vegetal.
Table 3. Results of apparent relative density (DRA) and friability tests carried out with the charcoal.

Testes	DRA (%)			Tamboramento (%)
	Método 1	Método 2	Método 3	
1*	0,393	0,399	0,385	16,98
2*	0,387	0,396	0,402	13,03
5**	0,448	0,397	0,458	17,79
6**	0,428	0,461	0,415	13,03
Média	0,414 aA	0,413 aA	0,415aA	15,20 A
3***	0,336	0,368	0,380	13,01
4***	0,342	0,423	0,462	13,61
7****	0,397	0,451	0,454	13,20
8****	0,431	0,463	0,470	12,04
9****	0,435	0,503	0,501	17,98
10****	0,365	0,384	0,375	9,51
Média	0,384 aA	0,432aA	0,440aA	13,22 A

*, ** Esfriamento fora da unidade isolante sem e com os pares termoeletricos, respectivamente. ***, **** Esfriamento dentro da unidade isolante sem e com os pares termoeletricos, respectivamente. Valores seguidos de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

*, ** Cooling outside the driv insulates without and with the thermoelectric couples, respectively. ***, **** Cooling within doors from the unit insulates without and with the thermoelectric couples, respectively. Values followed as the same minuscule letters, in the row, and uppercase, at the column, did not differ statistically by the Tukey test, at 5 % of probability.

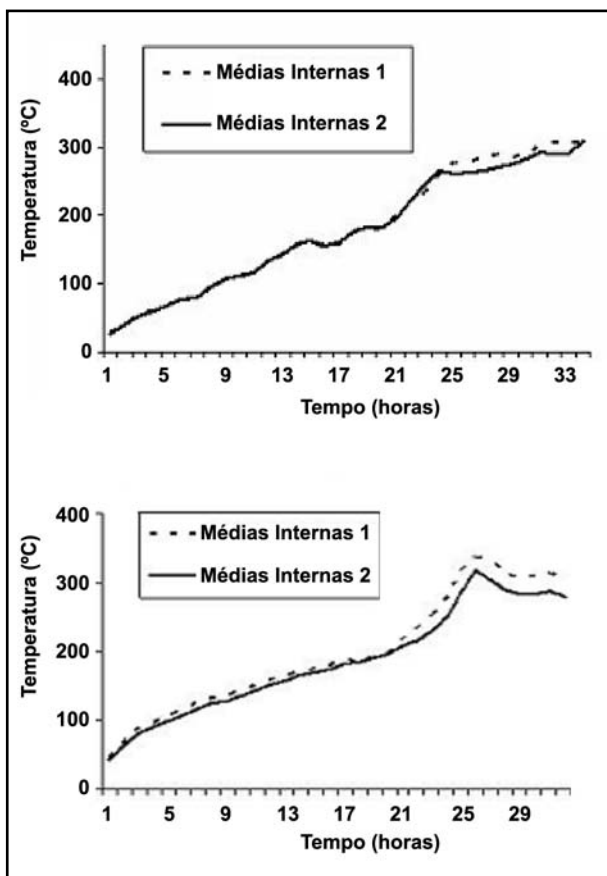


Figura 6. Perfil Térmico médio para os testes 3 e 4.
Figure 6. Average thermal profile for tests 3 and 4.

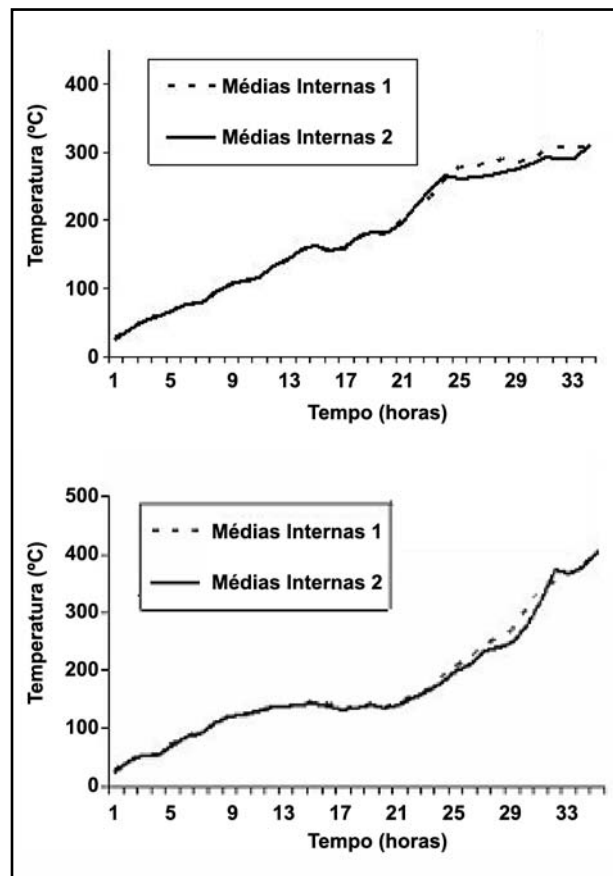


Figura 7. Perfil térmico médio para os testes 7 e 8.
Figure 7. Average thermal profiles for tests 7 and 8.

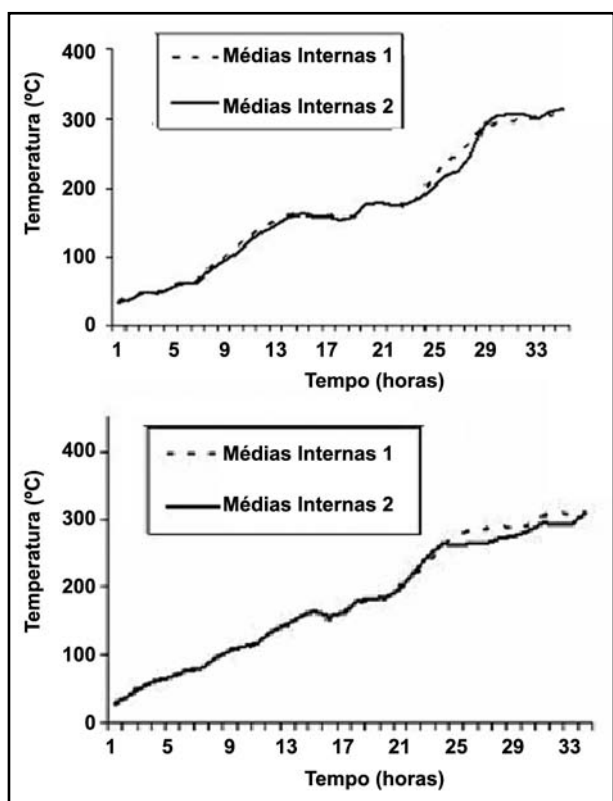


Figura 8. Perfil Térmico médio para os testes 9 e 10.
Figure 8. Average thermal profiles for the tests 9 and 10.

CONCLUSÕES

- O tempo de carbonização e o rendimento em carvão vegetal não sofreram interferência da umidade da madeira;
- A unidade de carvoejamento (metálica) exerceu papel decisivo na etapa de secagem da madeira enforada;
- O tempo de carbonização, o rendimento em carvão vegetal, o teor de carbono fixo e de material volátil não foram afetados significativamente pela forma de esfriamento;
- O tempo médio de esfriamento determinado com o auxílio dos pares termoelétricos foi 13 h e 38 h para a condição fora e dentro da unidade isolante, respectivamente;
- Observou-se uma redução de 73,33% no tempo de esfriamento quando a unidade de carvoejamento esfriava fora da unidade isolante.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro necessário a execução do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas NBR 8633, segundo a norma 167-73 ABNT (adaptada), 1375-80 ABNT, 1375-80. Brasília: ABNT, 1983.

ALMEIDA, M. R.; REZENDE, M.E.A. O Processo de carbonização contínua da madeira. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. *Produção e utilização do carvão vegetal*. Belo Horizonte, 1982. p.143-156.

AMS - ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. *Estatísticas*. Disponível em: <http://www.silviminas.com.br/>. Acesso em: 15 dez. 2006.

AMS - ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. *Estatísticas*. Disponível em: <http://www.silviminas.com.br/>. Acesso em: 23 fev. 2007.

BASTOS FILHO, J.G. *Desenvolvimento e teste de um forno metálico para carbonização de madeira*. 1986. 37p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanco Energético Nacional: resultados preliminares ano base 2005*. Brasília, 2006.

CALLE, F.R.; BAJAY, S.V.; ROTHMAN, H. *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Campinas: UNICAMP, 2005. 58p.

FERREIRA, L.M.H.C. *Desenvolvimento de uma reorta para carbonização de madeira*. 1988. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

JACOMINO, V.M.E.; CASTRO, L.F.A.; RIBEIRO, E.D.L.; LEÃO, M.M.D.; SOUZA, C.M.; GOMES, A.M.; ALMEIDA, M.L.B.; LOPES, L.E.F. *Controle ambiental das indústrias de produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal*. Belo Horizonte, 2002. 302p.

OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R. Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. *Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, propriedades, controle de qualidade*. Belo Horizonte, 1982. p.62-102.

- PINHEIRO, P.C.C.; VIANA, E.; REZENDE, M.E.A.; SAMPAIO, R.S. **A produção de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 2006. 103p.
- SILVA, J.R.M.; VALENTE, O.F.; VITAL, B.; LELLES, J.G. Desenvolvimento de um forno de carbonização com cúpula metálica móvel. *Revista Árvore*, Viçosa, v.20, n.4, p.507-513, 1996.
- TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M.; MORI, F.A.M.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; MENDES, L.F.B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. *Cerne*, Lavras, v.11,n.2, p.178-186, 2005.
- VALENTE, A.F.; LELLES, J.G. Carbonização da madeira de *Eucalyptus*. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, n.141, p.74-79, 1986.

Recebido em 02/04/2007
Aceito para publicação em 03/09/2008