III CBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE TORAS DE Eucalyptus urophylla EM TEMPERATURAS ELEVADAS

Aylson Costa Oliveira[1]
Bárbara Luísa Corradi Pereira[2]
Benedito Rocha Vital[3]
Wagner Davel Canal[4]
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro[5]

[1] Departamento de Engenharia Florestal / Faculdade de Engenharia Florestal / Universidade Federal de Mato Grosso
[2] Universidade Federal de Mato Grosso
[3] Universidade Federal de Viçosa
[4] Laboratório de Propriedades da Madeira
[5] UFV -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL / Universidade Federal de Viçosa

AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE TORAS DE *Eucalyptus urophylla* EM TEMPERATURAS ELEVADAS

Aylson Costa **OLIVEIRA**; Bárbara Luísa Corradi **PEREIRA**[1]; Benedito Rocha **VITAL**[2], Wagner Davel **CANAL**[2]; Angélica de Cássia Oliveira **CARNEIRO**[2],

[1] Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a velocidade de secagem de toras de *Eucalyptus urophylla* a altas temperaturas e a influência da presença ou ausência de casca e do diâmetro da madeira na velocidade de secagem em diferentes temperaturas. Utilizaram-se toretes de *Eucalyptus urophylla* com 60 cm de comprimento, em três classes diamétricas: 8-12 cm; 12,1-16 cm e 16,1-20 cm. Os toretes foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, na presença ou ausência de casca em cinco temperaturas: 50, 75, 100, 125 e 150ºC. Determinou-se a massa e a umidade inicial de cada torete e com pesagens periódicas acompanhou-se a perda de água, encerrando o processo de secagem quando os toretes de madeira atingiam a umidade de 20%. Conclui-se que o aumento da temperatura promove a redução do tempo de secagem, sendo significativo o efeito do diâmetro na secagem. Na secagem das toras de eucalipto em temperaturas superiores a 100ºC, o efeito da casca não foi significativo.

Palavras-chave: Umidade, Diâmetro, Estufa.

DRYING EVALUATION OF *Eucalyptus urophylla* LOGS UNDER HIGH TEMPERATURES

Abstract: The objective of this work was to evaluate the drying speed of *Eucalyptus urophylla* logs at high temperatures as well as to evaluate the influence of the presence or absence of bark and the logs diameter at the drying rate at different temperatures.*Eucalyptus urophylla* short logs with 60 cm length were used. The following diameter classes were considered: 8-12 cm; 12.1-16 cm and 16.1-20 cm. The wood were submitted to forced air drying in the presence or absence of bark in five temperatures: 50, 75, 100, 125 and 150ºC. The mass and the initial moisture of each short log were determined and by means of periodic weighing the loss of water was monitored. The drying process was terminated when the moisture content of 20% was reached. It is concluded that the increase in temperature promotes the reduction of the drying time. The diameter of the logs has a significant effect. For the drying of eucalyptus logs at temperatures above 100ºC, the effect of the bark is not significant.

Keywords: Humidity, Diameter, Greenhouse.

1. INTRODUÇÃO

A umidade da madeira tem grande influência no tempo de carbonização e na qualidade do carvão vegetal produzido. No entanto, as empresas ainda empregam a secagem ao ar livre com principal método, que segundo Zanuncio et al. (2013) é uma técnica que demanda elevado período de tempo para redução da umidade da madeira a níveis satisfatórios para a carbonização, entre 30 e 40%, além de apresentar grande heterogeneidade da umidade em função das dimensões das toras e posição na pilha.

A secagem artificial em secadores industriais poderia reduzir ser utilizada visando menores umidades e maior homogeneidade. Em ambos os métodos de secagem, as características da madeira juntamente com as condições de temperatura, umidade relativa e circulação do ar do ambiente influenciam a velocidade de saída da água. No entanto, na secagem ao ar livre as condições ambientais serão as verificadas no local onde a madeira está exposta, enquanto que na secagem artificial, torna-se possível a alteração do ambiente utilizando ventiladores para circulação e renovação do ar e sistemas de aquecimento para aumento da temperatura, além do controle da umidade relativa.

Segundo Galvão e Jankowsky (1985), temperaturas mais elevadas favorecem o processo de secagem da madeira, fornecendo mais energia para evaporação da água e elevando o potencial do ar em receber maior quantidade de vapor de água. Deste modo, a utilização de secadores industriais utilizando como fonte de calor os gases combustos da carbonização possibilitará a homogeneização da umidade de grandes volumes de madeira, redução do tempo de secagem e obtenção de menores teores de umidade em relação ao normalmente verificado na secagem ao ar livre.

Segundo Yang et al. (2007) durante a carbonização da madeira são gerados diversos compostos gasosos ricos em carbono e hidrogênio, sendo os principais CO, CO_2, H_2 e CH_4. Estes gases, em condições e sistemas adequados, podem sofrer reações químicas na presença de oxigênio (combustão), tornando as emissões da carbonização constituídas somente de CO_2 e vapor de água e liberando energia na forma de calor (CARDOSO et al., 2010). As temperaturas dos gases liberados para o ambiente pela chaminé, após a combustão no interior da fornalha, podem atingir de 200 a 500ºC (OLIVEIRA et al., 2013).

Uma forma de aproveitamento do calor gerado pelas fornalhas no processo produtivo do carvão vegetal seria o seu direcionamento para a secagem das toras de madeira por meio de secadores industriais. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a velocidade de secagem da madeira em toras *de Eucalyptus urophylla* a altas temperaturas, como subsídio aos futuros projetos de secadores industriais. Objetivou-se também avaliar a influência da presença ou ausência de casca e do diâmetro da madeira na velocidade de secagem em diferentes temperaturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As toras de madeira utilizadas neste estudo foram provenientes de um plantio de *Eucalyptus urophylla*, com idade de 7 anos, cultivados em espaçamento de 3 x 2 m, localizados na cidade de Viçosa-MG. Esse município apresenta altitude média de 650 m, o clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de 1200 mm e a temperatura média anual é de 20,5ºC, com mínima de 14,6ºC e máxima de 26,3ºC (ZUCOLOTO et al., 2011).

2.1 Preparo das amostras

Foram coletadas 7 árvores de *Eucalyptus*, com diâmetro à altura do peito (DAP) médio de 18 cm e altura média de 25 m. Cada árvore foi seccionada em toras com 1,3 m de comprimento até o diâmetro mínimo de 8 cm. De cada tora foram determinadas as circunferências da base e topo para cálculo do diâmetro médio. Posteriormente, elas

foram separadas em 3 classes de diâmetro. A Classe 1 foi composta pelas toras obtidas na parte superior das árvores com diâmetros de 8 a 12 cm; a Classe 2 composta por toras obtidas na região intermediária da altura da árvore, com diâmetros de 12,1 a 16 cm e a Classe 3, toras de 16,1 a 20 cm, obtidas mais próximas à base das árvores.

Após a separação por diâmetro, as toras foram seccionadas em toretes de 60 cm, retirando um disco central, com cerca de 10 cm de espessura de cada tora para determinação da umidade inicial de cada torete pelo método gravimétrico. Em seguida, metade dos toretes de cada classe de diâmetro permaneceu com casca e a outra metade foi descascada manualmente.

Posteriormente, os toretes foram dispostos sobre uma estrutura elevada a 0,5 m do chão para que houvesse uma maior circulação do ar entre eles dentro de um galpão coberto para secagem natural até teor médio de umidade igual a 60% (±10%). Determinou-se a massa inicial de cada torete, cuja umidade inicial foi estimada em função da umidade verificada nos discos correspondentes. Seguiu-se com pesagens periódicas dos toretes até a massa correspondente a umidade estabelecida. Neste momento, cessava-se a secagem natural e os toretes eram acondicionados em sacos plásticos com tetraborato de sódio deca hidratado, para reduzir a perda de água e ataque de organismos decompositores da madeira até que todos os toretes atingissem a umidade de 60±10%, para posteriormente realizar a secagem em estufa.

2.2 Secagem em estufa

Quando todos os toretes atingiam umidade média de 60%, retirava-se uma fração de serragem de toda a região radial da tora (sentido casca-medula) com auxílio de uma furadeira elétrica e através de uma balança determinadora de umidade com lâmpada de halogêneo da marca OHAUS MB35 Halogen determinava-se a umidade inicial de cada torete, de acordo com metodologia descrita por Donato et al (2014).

Em seguida, determinou-se a massa inicial de cada torete e realizou a impermeabilização das extremidades dos toretes com tinta metálica, visando minimizar a perda de água na direção longitudinal da madeira, fazendo com que a secagem ocorresse preferencialmente na direção radial da madeira.

Posteriormente, os toretes foram levados para secagem em estufa, avaliando-se o efeito do diâmetro, presença ou ausência de casca e diferentes temperaturas de secagem, 50, 75, 100, 125 e 150ºC, na velocidade de secagem da madeira de Eucalyptus. Foi utilizada uma estufa laboratorial com circulação forçada de ar no sentido horizontal, com controle de temperatura até 200ºC, com capacidade de 480 litros

Para avaliar a velocidade de secagem, os toretes foram pesados individualmente em intervalos regulares de tempo que variaram conforme o tratamento avaliado, encerrando a secagem em estufa quando os toretes atingiam a massa correspondente a 20% (±2%) de umidade. A partir da relação da massa seca e da massa úmida periódica de cada torete, calculou-se a umidade da madeira ao longo do tempo.

A partir dos valores médios de umidade das toras ao longo do tempo e do tempo total necessário para os toretes atingirem 20% de umidade procedeu-se a confecção das curvas de secagem em função da classe diamétrica, presença ou ausência de casca e temperatura de secagem na estufa. Com o auxílio do programa CurveExpert 1.4., definiu-se modelos que poderiam explicar a redução da umidade em função do tempo

ou as curvas de secagem, selecionando-se entre eles os melhores, baseado no coeficiente de determinação (R^2), no erro padrão residual e na distribuição dos resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo matemático que melhor descreveu a redução no teor de umidade das toras nos diferentes tratamentos (presença ou ausência de casca, diâmetro das toras e temperatura de secagem, exceto para 150ºC, Classes 1 e 2) ao longo do tempo foi um modelo exponencial de dois parâmetros:

$$\mathbf{y = a * exp(-bx)}$$

Em que:

y = valor estimado de umidade para toras de eucalipto (%); x = tempo de secagem (dias); a, b = parâmetros do modelo

Para a temperatura de 150ºC com presença ou ausência de casca para toras com diâmetro variando entre 8 e 12 cm (Classe 1) e entre 12,1 e 16 cm (Classe 2), o modelo que melhor se adequou aos valores de redução da umidade ao longo do tempo foi um modelo linear com dois parâmetros:

$$\mathbf{y = ax + b}$$

Em que:

y = valor estimado de umidade para toras de eucalipto (%); x = tempo de secagem (dias); a, b = parâmetros do modelo

Provavelmente, o modelo linear para a secagem à 150ºC para as Classes 1 e 2 deve-se a maior velocidade de evaporação da água e secagem das toras em razão da elevada temperatura.

As equações ajustadas para a estimativa do teor de umidade médio da madeira em tora de eucalipto ao longo do tempo apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99%, demonstrando assim, que o modelo foi satisfatório na modelagem da secagem da madeira em tora. As estimativas dos parâmetros a e b para as curvas de secagem nas diferentes condições de temperatura, diâmetro e casca estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos ajustados para redução do teor de umidade das toras ao longo do tempo para as Classes 1, 2 e 3, nas diferentes temperaturas e na presença e ausência de casca

Classe Diamétrica	Temperatura	Casca	a	b	R^2
Classe 1 (Ø8-12 cm)	50ºC	Presente	71,75	0,07	0,9955
		Ausente	65,462	0,059	0,9991
	75ºC	Presente	58,253	0,325	0,9963
		Ausente	55,576	0,355	0,9961
	100ºC	Presente	55,258	0,666	0,9965
		Ausente	57,502	0,87	0,9929
	125ºC	Presente	51,932	1,931	0,9675
		Ausente	50,879	1,889	0,9987
	150ºC*	Presente	- 55,007	44,666	0,9973
		Ausente	- 49,957	47,071	0,9992
Classe 2 (Ø 12,1 -16 cm)	50ºC	Presente	50,127	0,044	0,9958
		Ausente	46,148	0,068	0,9889
	75ºC	Presente	55,668	0,151	0,9951
		Ausente	53,464	0,192	0,9949
	100ºC	Presente	48,964	0,474	0,9940
		Ausente	50,673	0,551	0,9908
	125ºC	Presente	45,005	0,907	0,9774
		Ausente	55,615	0,908	0,9871
	150ºC*	Presente	-40,144	53,597	0,9865
		Ausente	-37,963	48,947	0,9942
Classe 3 (Ø 16,1 - 20 cm)	50ºC	Presente	54,693	0,040	0,9963
		Ausente	50,128	0,059	0,9959
	75ºC	Presente	79,600	0,086	0,9978
		Ausente	78,455	0,095	0,9981
	100ºC	Presente	68,930	0,420	0,9957
		Ausente	59,546	0,420	0,9984
	125ºC	Presente	67,466	0,674	0,9894
		Ausente	74,060	0,739	0,9903
	150ºC	Presente	71,451	0,618	0,9823
		Ausente	69,161	0,607	0,9922

*Modelo Linear

Verifica-se nas Figuras 1 e 2 que as toras de menor diâmetro, pertencentes à Classe 1, apresentaram os menores tempos de secagem, exceto para a secagem realizada em temperatura de 50ºC. Em média, para as toras da Classe 2 atingirem 20% de umidade, o tempo necessário foi 50% superior ao verificado para a Classe 1. Para as toras de maior diâmetro da Classe 3, o tempo de secagem foi 2 e 3 vezes maior, respectivamente, em relação às Classes 1 e 2.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os valores médios estimados de umidade das toras de eucalipto ao longo do tempo, nas diferentes temperaturas de secagem na estufa para cada classe diamétrica, na presença e ausência de casca.

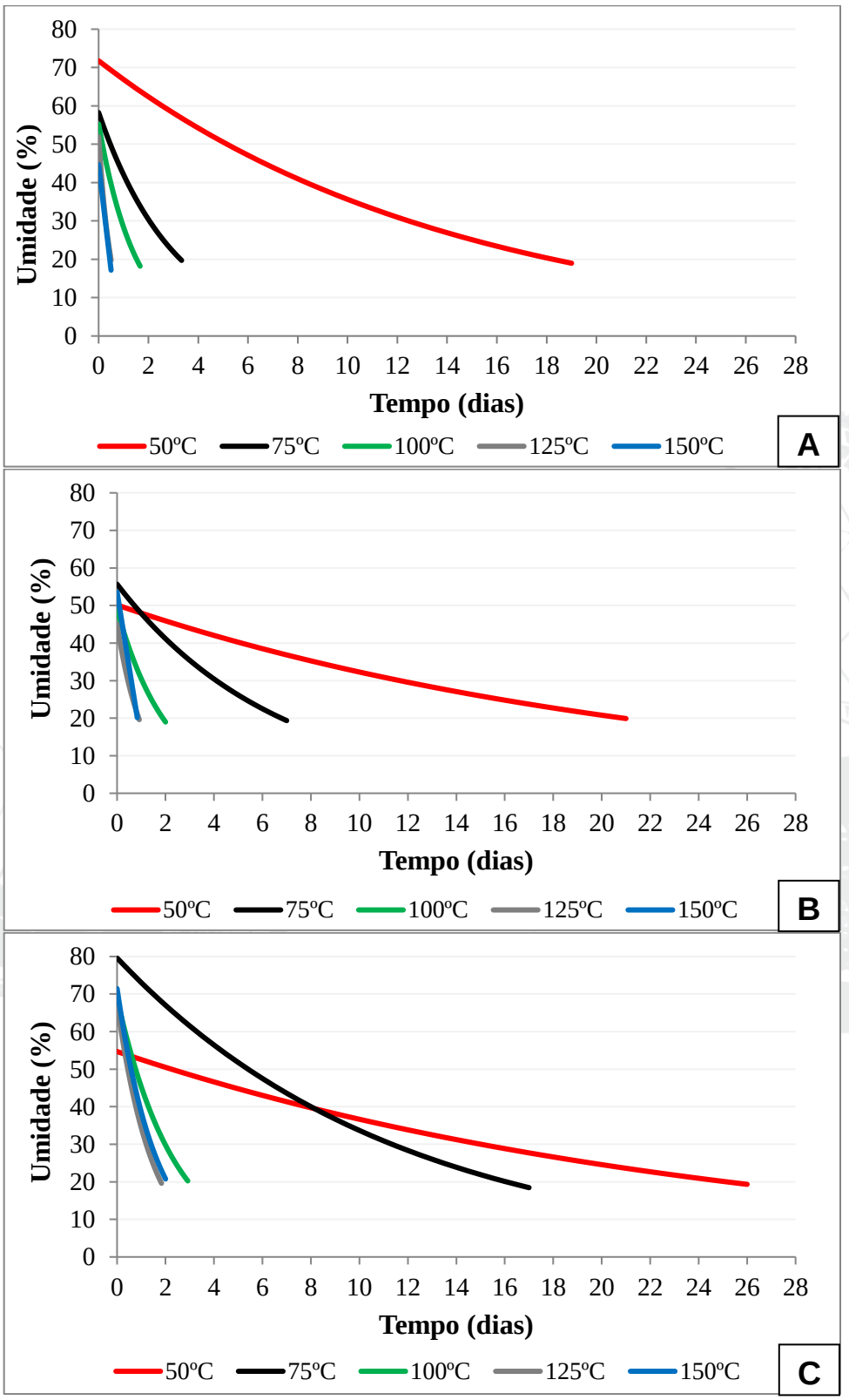


Figura 1. Valores médios estimados de umidade das toras de eucalipto com casca em função da temperatura de secagem. (A) Classe 1 (Ø 8-12 cm); (B) Classe 2 (Ø 12,1-16 cm); (C) Classe 3 (Ø 16,1-20 cm).

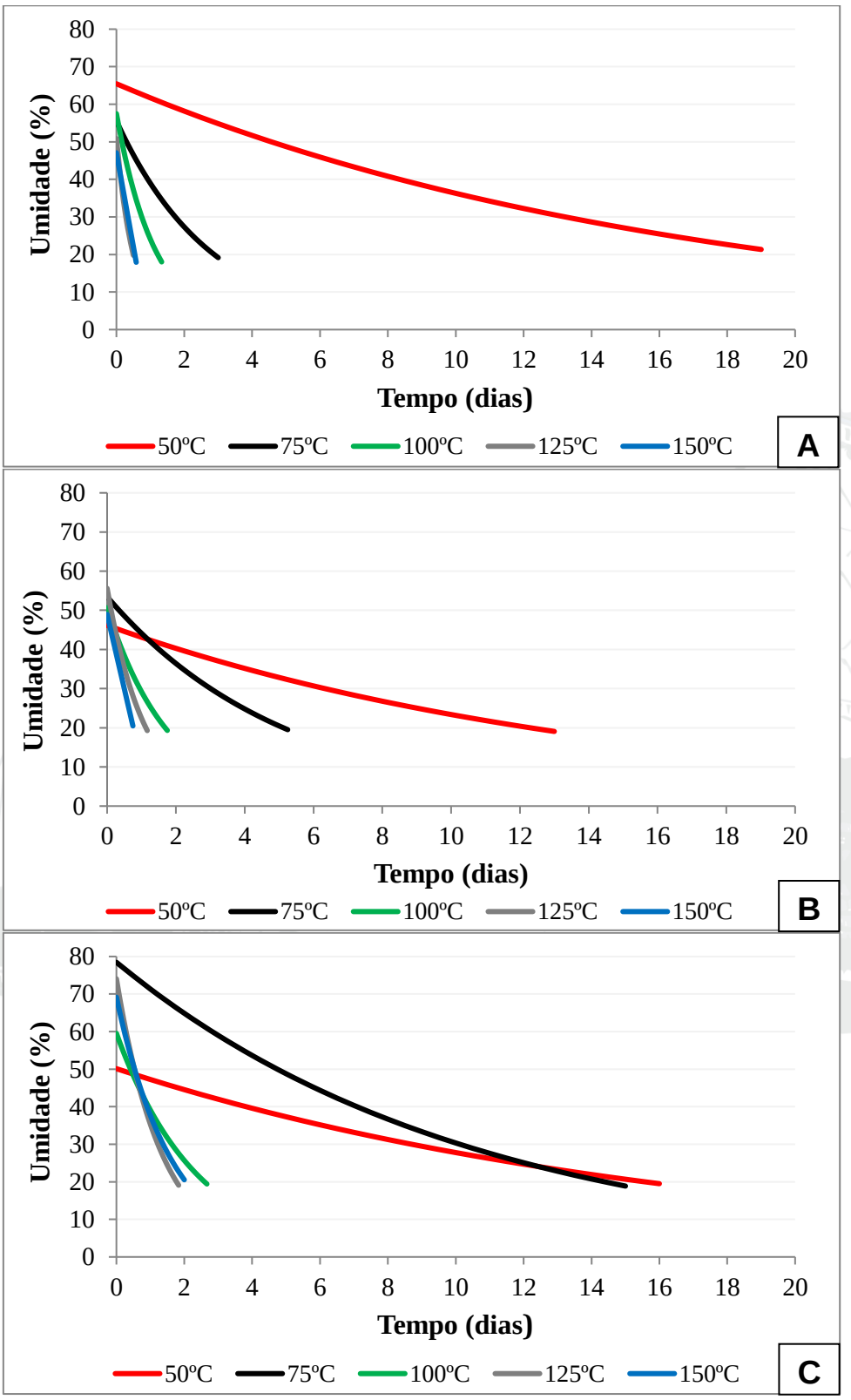


Figura 2 - Valores médios estimados de umidade das toras de eucalipto com casca em função da temperatura de secagem. (A) Classe 1 (Ø 8-12 cm); (B) Classe 2 (Ø 12,1-16 cm); (C) Classe 3 (Ø 16,1-20 cm).

De acordo com o observado nas Figuras 1 e 2, independente da presença ou ausência de casca, quando maior o diâmetro das toras de eucalipto, maior foi o tempo necessário para secagem a 20% de umidade. Segundo Vital et al. (1985), o diâmetro das toras está relacionado com a distância a ser percorrida pela água do interior da madeira para sua superfície, onde será evaporada. Assim, verifica-se que mesmo a secagem ocorrendo em temperaturas superiores às condições naturais (25 ºC a 35ºC), o diâmetro das toras afeta a velocidade de saída de água do interior da madeira, consequentemente, influencia o tempo de secagem. Assim, recomenda-se a a separação das toras em classes diamétricas anteriormente à secagem em estufa para melhor operação e maior homogeneidade do teor de umidade da carga de madeira.

Neste trabalho (Figuras 1 e 2), constatou-se até a temperatura de 125ºC, reduções variáveis de 2 a 3 vezes no tempo de secagem das toras, e a partir de 125ºC, o aumento da temperatura de secagem para 150ºC promoveu redução de 10% no tempo, ou nenhuma alteração, como verificado para as toras da Classe 1, logo, pode-se afirmar que o tempo de secagem das toras de eucalipto reduz com o aumento da temperatura da estufa, para os diferentes diâmetros e na presença ou ausência de casca. Raad (1997) avaliando a secagem da madeira de *Eucalyptus* spp. em temperaturas variando de 75ºC a 225ºC verificou uma redução de cerca de 30% no tempo de secagem a cada incremento de 25ºC na temperatura de secagem até 150ºC, acima desta temperatura não houveram alterações na curva de secagem e no tempo total de secagem.

O menor tempo de secagem em altas temperaturas se deve ao aumento da taxa de fornecimento de calor para a madeira, resultando no aumento da velocidade de migração da umidade interna para a superfície, elevando a velocidade de secagem (SANTOS et al, 2010; COELHO, 2013). Outra razão da maior eficiência da secagem em altas temperaturas seria a maior velocidade de secagem da superfície da madeira, elevando o gradiente de umidade entre superfície e interior, além de aumentar a capacidade do ar em receber maior quantidade de vapor de água.

Em relação ao efeito da casca sobre a secagem da madeira em tora, observa-se que o tempo total necessário para alcançar umidade de 20% foi menor para as toras sem casca para pertencentes às Classes 2 e 3 (Figura 2), principalmente nas menores temperaturas de secagem, 50ºC e 75ºC. Para as toras da Classe 1, a retirada da casca pouco influenciou no tempo de secagem, independente da temperatura. Como a retirada da casca envolve maquinário, mão de obra e tempo de operação, a decisão de se realizar o descascamento, deve considerar os custos e ganhos envolvidos.

Diversos estudos avaliando a secagem natural de toras de eucalipto relatam que o tempo mínimo de secagem é de cerca de 60 dias para que toras de menor diâmetro alcancem umidade média igual a 30% (REZENDE et al., 2010; PINHEIRO, 2013). Assim, a utilização de estufas com temperaturas elevadas é uma opção para a redução do tempo de secagem da madeira em tora e obtenção de menores teores de umidade, pois para alcançar umidade igual a 20%, foram necessários em média, desconsiderando o efeito diâmetro, 20 dias de secagem à 50ºC; 8 dias em 75ºC; 2 dias para 100ºC e 1 dia para 125ºC e 1 dia para 150ºC, sendo verificados maiores tempos para as toras pertencentes ao maior diâmetro avaliado.

4. CONCLUSÕES

A secagem de toras de madeira em estufa à altas temperaturas promoveu a redução da umidade a valores próximos a 20% para todas as classes diamétricas, com presença ou ausência de casca, em tempos inferiores a 30 dias.

A presença de casca na madeira de *Eucalyptus urophylla* em toras foi insignificante na secagem em temperaturas superiores a 100ºC, não sendo recomendado o descascamento das toras.

Recomenda-se a realização da secagem de toras de *Eucalyptus urophylla* em temperatura igual a 125ºC, em classes diamétrica separadas.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Universidade Federal de Mato Grosso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, M. T.; DAMÁSIO, R. A. P.; CARNEIRO, A. C. O.; JACOVINE, L. A. G.; VITAL, B. R.; BARCELLOS, D. C. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes. 2010. Cerne, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 115-124, 2010.

COELHO, L. D. N. Modelagem e simulação da secagem de partículas sólidas de biomassa em temperaturas típicas de combustão. 2013. 86p. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.

DONATO, D. B.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. L. M, PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; BARBOSA, C. J. Determinação da umidade da madeira em tora por diferentes métodos. 2014. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 34, n. 80, p. 449-453, 2014.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C.; VITAL, B. R.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; DAMÁSIO, R. A. P. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. 2013. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.3, p.557-566, 2013.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. Secagem racional da madeira. São Paulo, Nobel, 1985. 111 p.

PINHEIRO, M. A. Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal. 2013. 80p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

RAAD, T. J. Modelagem do processo de secagem do *Eucalyptus* spp a altas temperaturas. 1997. 86p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 1997.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T. PAULA, L. E. R.; FARIA, A. L. R. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. 2010. Cerne, Lavras, v.16, Suplemento, p. 41-47, 2010.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. 2010. Acta Scientiarum Technology, Maringá-PR, v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. Revista Árvore, v.9, s/n, p.10-27, 1985.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H. ; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. 2007. Fuel, v. 86, p. 1781-1788, 2007.

ZANUNCIO, A. J. V.; MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; ANDRADE, H. B.; CARVALHO, A. G. Drying biomass for energy use of *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* logs. 2013. BioResources, v.8, n. 4, p. 5159-5168, 2013.

ZUCOLOTO, M.; COSTA, M. G.; CARVALHO, L. M.; SANTOS, D.; SIQUEIRA, D. L. Estimativa da produção de sementes de porta-enxertos cítricos por meio da massa de frutos. 2011. Revista Ceres, Viçosa-MG, v. 58, n. 1, p. 126-128, 2011.