

Perdas térmicas em secador de café

Marcelo Greco^{1*}, Alessandro Torres Campos² e Elcio Silvério Klosowski³

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Grupo de Pesquisa em Ambiente, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, R. Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. ²Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, Brasil. ³Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: greco.b@ibest.com.br

RESUMO. Este trabalho teve como objetivo avaliar a redução da temperatura nas partes externas de um secador de camada fixa para café, mediante diferentes combinações de tempo de revolvimento, utilizando-se termômetro sem contato. O experimento foi desenvolvido no mês de junho de 2004 em uma propriedade localizada em Jesuítas, Estado do Paraná. Foi utilizado café (*Coffea arabica* L.), variedade IAC 81. O secador utilizado foi o modelo de camada fixa, com câmara de secagem metálica, de formato cilíndrico, com um sistema de revolvimento de grãos adaptado. Observou-se que houve, em média, uma redução térmica de 156,7°C (79,1%) no sistema que vai da fornalha até a câmara de secagem. A combinação que proporcionou menor redução da temperatura foi a com ventilação contínua e revolvimento de 40 min. a cada 3h até o fim do processo. A combinação que proporcionou maior redução de temperatura foi a com revolvimento contínuo, com redução de 81,09% na temperatura superficial do produto.

Palavras-chave: perda de temperatura, secagem, café, camada fixa.

ABSTRACT. *Thermal losses in coffee dryer.* This study aimed to evaluate the temperature reduction in the external parts of a fixed-bed coffee dryer, by means of different combinations of revolving times, using a noncontact thermometer. The experiment was developed in the month of June 2004 at a farm located in Jesuítas, Paraná State, Brazil. Coffee (*Coffea arabica* L.) variety IAPAR 59 was used. The dryer used was of the fixed-bed model, with metallic drying chamber, with cylindrical format, with an adapted grain revolving system. It was observed that there was a thermal reduction of 156.7°C (79.1%) in the system going from the furnace to the drying chamber. The combination that provided smaller reduction of temperature was with continuous ventilation and 40 minutes revolving interval at every 3 hours until the end of the process. The combination that provided the greatest reduction in temperature was with continuous revolving, with a reduction of 81.09% in the surface temperature of the product.

Key words: loss of temperature, drying, coffee, fixed bed.

Introdução

A secagem de café realizada por meio de secadores mecânicos consiste em submeter o grão à ação de uma corrente de ar que atravessa a massa de grãos, fazendo com que ocorra a transferência de calor por convecção no produto a ser secado. Este tipo de secagem apresenta uma série de vantagens com relação à secagem natural: pode ser processada independentemente das condições do tempo e, também, é realizada em menor espaço de tempo; em contrapartida possui um investimento elevado (CORREA, 1982; SOARES et al., 1983; VIEIRA; VILELA, 1995). Nos secadores com sistema de aquecimento indireto, o calor é transferido do combustível queimado para o ar de secagem por meio de um trocador de calor (NELLIST; BRUCE, 1995). Dessa forma, os produtos da combustão não entram em contato com a massa de grãos.

O aperfeiçoamento e o manejo são métodos que proporcionam maior eficiência de secagem; com isso, evita-se perda de calor, que pode chegar a 50%. Essa perda pode ocorrer por meio de calor sensível que se perde com o ar usado na secagem ou quando o ar ambiente está saturado, originando perda de calor por condução (DIOS, 1996). Segundo Dalpasquale et al. (1991), a temperatura e a umidade relativa do ar não são importantes para a secagem com secadores de altas temperaturas, tendo pouca influência sobre a taxa de secagem. Entretanto, são fatores importantes para determinar a quantidade de energia necessária para atingir as condições térmicas adequadas para a secagem. Quanto menor a temperatura ambiente e maior a umidade relativa, maior será a quantidade de energia necessária para alcançar a temperatura de secagem.

Segundo Incropera e De Witt (1996), a condutividade térmica representa a propriedade que relaciona a taxa com que o fluxo de calor escoo pelo material, em função da existência de um gradiente de temperatura. A condutividade térmica de um material é a medida da sua capacidade para conduzir calor. Toda vez que houver diferença de temperatura num meio, ou entre vários meios, a transferência de calor ocorrerá obrigatoriamente (BORÉM et al., 2002).

Sabe-se que a quantidade de energia em forma de calor empregada na fornalha de um secador de camada fixa não é a mesma que chega à câmara de secagem. Este trabalho teve por objetivo verificar, pelo uso de termômetro sem contato, a perda calor que ocorre a partir da fornalha até a camada de grãos em um secador mecânico de camada fixa, no qual se empregaram diferentes tempos de revolvimento para secagem.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado em junho de 2004, com café (*Coffea arabica* L.), variedade IAC 81, procedente de uma propriedade situada no município de Jesuítas, Estado do Paraná, colhido pelo sistema de derricha total no chão e com uma pré-secagem em terreiro de cimento até atingir 25% b.u. ou menos. As avaliações de qualidade do produto foram realizadas na Cooperativa Agrícola Consolata - Copacol, e as avaliações do teor de umidade (BRASIL, 1992) foram feitas no Laboratório de Tecnologia de Sementes da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste.

Foi utilizado um secador de café, que constitui uma adaptação do secador de camada fixa, em que se instalou um sistema de revolvimento mecânico dos grãos. O secador foi construído sobre base de alvenaria, com a câmara de secagem e a fornalha confeccionadas em chapas de aço-carbono, sendo composto pelas seguintes partes: a) câmara de secagem: constituída de um cilindro metálico com diâmetro de 2,75 m e altura de 0,76 m, com capacidade para 4,5 m³ de grãos. Sua base possui uma chapa com 44% de perfuração, em contato com o *plenum* que recebe o ar aquecido destinado à secagem. Foram providas duas aberturas para bica de descarga. O revolvimento da camada de grãos na câmara de secagem é realizado por um sistema dotado de movimento giratório horizontal, composto por quatro pás. O sistema é acionado por um motor elétrico de 2 cv; b) câmara *plenum*: construída em alvenaria e chapa metálica, com a finalidade de distribuir o fluxo de ar aquecido na câmara de secagem. Sua base tem o mesmo diâmetro

da câmara de secagem, com altura de 0,5 m. Seu volume interno é de 2,9 m³; c) duto de ligação: elemento de transição entre a fornalha e o *plenum*, com comprimento de 1,50 m, cuja finalidade é conduzir o fluxo de ar aquecido ao secador de forma uniforme; d) ventilador: com potência de 2 cv e vazão de 45,2 m³ min.⁻¹, succiona o ar ambiente forçando sua passagem pelos dutos da fornalha, onde é aquecido para, em seguida, atingir a câmara de secagem; e) fornalha de fogo indireto: confeccionada em chapa de aço-carbono de 8 mm, possui trocador de calor composto por 21 dutos, que promovem o aquecimento do ar de secagem em fluxos cruzados. Possui também cinzeiro (coleta dos resíduos sólidos) e chaminé, que promove a retirada dos resíduos gasosos (fumaça) para a atmosfera em um ponto distante da camada de grãos, evitando sua contaminação.

Avaliação da Temperatura Externa do Secador

Para avaliação da temperatura externa, utilizou-se termômetro sem contato, com mira *laser* (modelo minitemp – laser – Raytek), com precisão de 0,01°C, a 0,20 m de distância dos pontos de amostragem. Temperaturas externas: a) fornalha – a temperatura foi obtida em quatro lados e em duas diferentes alturas; b) duto de ligação – a temperatura foi obtida a 0,25; 0,75 e 1,25 m em relação à fornalha nos quatro lados do ducto de ligação; c) câmara *Plenum* – a temperatura foi obtida em quatro diferentes pontos e duas alturas; d) câmara de secagem – a temperatura foi obtida em quatro diferentes pontos e três diferentes alturas (0,05; 0,2 e 0,4 m) em relação à extremidade da câmara *plenum* e começo da câmara de secagem.

Sistemas de operação com o secador

O secador foi carregado com produto úmido até 100% da capacidade da câmara de secagem. O delineamento experimental foi em quatro blocos inteiramente casualizados, com quatro tratamentos em intervalos, conforme os tratamentos: T1 – secagem com ventilação e revolvimento contínuos; T2 – secagem com ventilação contínua e revolvimento de 40 min., com intervalo de 1h sucessivamente até o fim do processo; T3 – secagem com ventilação contínua e revolvimento de 40 min., com intervalo de 2h sucessivamente até o fim do processo; T4 – secagem com ventilação contínua e revolvimento de 40 min., com intervalo de 3h sucessivamente até o fim do processo.

A alimentação de combustível (lenha) foi realizada de forma que a temperatura do ar no *plenum* se mantivesse constante, em torno de 70°C. Para

determinar o final da secagem, foi realizado o monitoramento do teor de umidade do produto com auxílio de determinador micro computadorizado modelo PS-12.

Avaliação da Qualidade do Produto

Para análise da qualidade final e testes de bebida (prova de xícara), foram enviadas amostras de café de cada um dos quatro tratamentos ao Laboratório de Qualidade de Café. Para avaliação do tipo do grão, foi utilizada uma tabela proposta pela IBC (1985), a qual possui uma escala de tipo crescente que varia de 2 a 8: quanto maior o número, maior o defeito apresentado em uma amostra de 300 g, consequentemente pior a qualidade.

Resultados e discussão

A temperatura ambiente média durante o experimento foi de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar média foi de $95 \pm 5\%$.

A diferença entre a temperatura da fornalha e a câmara de secagem foi de $156,7^\circ\text{C}$, o que representa uma perda térmica de 79,1%; a diferença diminuiu em relação à câmara *plenum*, que é de $126,1^\circ\text{C}$, representando uma perda de 64,0%. Em relação ao duto de ligação, a perda foi de $100,1^\circ\text{C}$, representando 50,6%.

A redução térmica superficial, nas diversas partes do equipamento, foi gradativa e deveu-se à perda de energia em forma de calor sensível (preponderantemente) do sistema para o ambiente, conforme explica Dios (1996). Essa perda de calor é ocasionada toda vez que há diferença de temperatura em um meio (BORÉM et al., 2002), conforme pode ser observado na Figura 1.

Na Tabela 1 estão representadas as reduções de temperatura externa nas partes do secador para todos os tratamentos. O tratamento no qual se observou maior

redução da temperatura externa foi o tratamento 1, provavelmente, pelo fato de a camada de grãos ter sido revolvida continuamente, fazendo com que o fluxo de ar, ao atravessar a camada de grãos, fosse submetido a uma menor pressão, ocasionando, assim, maior perda de calor com o ar usado na secagem (DIOS, 1996).

O tratamento 2 foi o que propiciou menor redução de temperatura entre a fornalha e duto de ligação, provavelmente, pela maior temperatura ambiente e menor umidade relativa do ar, conforme explicam Dalpasquale et al. (1991). Essa menor perda não foi mantida no restante do secador. O tratamento 3 apresentou resultado semelhante. O tratamento que apresentou menor perda de calor do sistema de secagem foi o 4 (Tabela 1), pelo fato de o secador ter sido revolvido com maior intervalo de tempo, ocasionando maior aquecimento no sistema. Esse maior intervalo de tempo fez com que o ar de secagem atravessasse a camada de grãos mais lentamente, pela pressão estática, provocando, assim, maior aquecimento no secador.

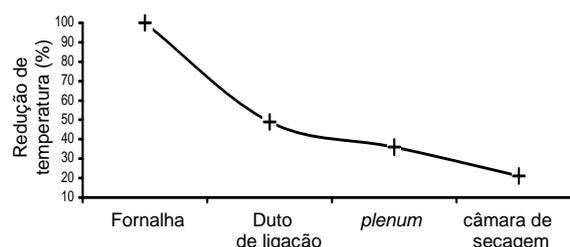


Figura 1. Redução da Temperatura externa nas diversas partes do secador (%), média de todos os tratamentos e todas as repetições.

Na Tabela 1 observa-se que a temperatura da fornalha do tratamento 4 foi mais elevada, diferenciando-se da temperatura do tratamento 2; já os tratamentos 1 e 3 não se diferenciaram dos demais tratamentos.

Tabela 1. Temperatura externa do secador, diferença entre temperaturas e percentual de diferença de temperatura, no duto de ligação, câmara *plenum* e câmara de secagem.

		Temperatura °C	Diferença temperatura (°C)			Diferença temperatura (%)		
			Duto de ligação	Câmara <i>Plenum</i>	Câmara secagem	Duto de ligação	Câmara <i>Plenum</i>	Câmara secagem
Fornalha	T1	200,90	102,50	132,32	162,92	51,02	95,86	81,09
	T2	193,52	94,67	123,57	154,12	48,92	63,85	79,64
	T3	196,45	98,82	124,60	153,62	50,30	63,42	78,20
	T4	201,22	104,50	126,45	155,97	51,93	62,84	77,51
Duto de ligação	T1	98,4		29,82	60,42		30,30	61,40
	T2	98,85		28,9	59,45		29,23	60,14
	T3	97,62		25,77	54,8		26,40	56,13
	T4	96,72		21,95	51,47		22,16	57,72
Câmara <i>Plenum</i>	T1	68,57			30,60			44,62
	T2	69,95			30,55			43,67
	T3	71,85			29,05			40,39
	T4	74,77			29,52			39,48
Câmara de secagem	T1	37,97						
	T2	39,4						
	T3	42,82						
	T4	45,25						

No *plenum* observa-se que houve diferença entre o tratamento 4 e o tratamento 1, e o tratamento 4 apresentou maior temperatura. Os Tratamentos 2 e 3 não apresentaram diferença em relação aos demais. Na câmara de secagem, os tratamentos não apresentaram diferenças.

Os tratamentos não influenciaram a qualidade da bebida e o tipo de grãos, conforme se pode observar na Tabela 2. A qualidade de bebida e os tipos dos grãos são influenciados por vários fatores, dentre eles, as condições climáticas, principalmente na fase de maturação (MALAVOLTA, 1993).

A classificação quanto à bebida tem como base o gosto ou cheiro que o café apresenta na prova de xícara. Neste experimento, não houve diferença na qualidade (Tabela 1), e todos os tratamentos apresentaram bebida 'Riada', a qual é caracterizada por apresentar uma bebida com leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico (BARTHOLO; GUIMARÃES, 1997).

Tabela 2. Tipo de grão e qualidade da bebida nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Tipo do grão	Bebida
T1	6*	Riada
T2	6	Riada
T3	6	Riada
T4	6	Riada

*Tipo 6 – 86 a 159 defeitos.

Conclusão

O tratamento com revolvimento contínuo apresentou o pior desempenho, com redução de 81,09% na temperatura superficial do equipamento.

A secagem contínua com revolvimento de 40 min. em intervalos de 3h sucessivas até o fim do processo demonstrou menor perda de temperatura nas partes externas do secador (77,51%).

Referências

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO, R. C. M. S.; CORRÊIA, P. C.; PEREIRA, R. G. F. A. Propriedades térmicas de cinco variedades de café cereja descascado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 475-480, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992.

CORREA, P. C. **Simulação de secagem de café em camada espessa**. Viçosa: UFV, 1982.

DALPASQUALE, V. A.; PEREIRA, J. A. M.; SINICIO, R.; OLIVEIRA FILHO, D. **Secado de granos a altas temperaturas**. Santiago: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 1991.

DIOS, C. A. **Secado de granos y secadoras**. Santiago: Oficina regional para a América Latina y el Caribe, 1996. (Serie Tecnología postcosecha, 11).

IBC-Instituto Brasileiro do Café. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. 5. ed. Rio de Janeiro: IBC, 1985.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. New York: John Wiley and Sons, 1996.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993.

NELLIST, M. E.; BRUCE, D. M. Heated-air grain drying. In: JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G.; MUIR, W. E. (Ed.). **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 609-659.

SOARES, A. G. O.; SILVA, J. S.; DALPASQUALE, V. A.; OLIVEIRA, J. L. Secagem de café em secadores de fluxo concorrente. **Informe Agropecuário**, v. 9, n. 99, p. 18-24, 1983.

VIEIRA, G.; VILELA, E. R. Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Prática**, v. 19, n. 3, p. 289-296, 1995.

Received on May 30, 2008.

Accepted on September 9, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.