

MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DE UMIDADE E VOLÁTEIS DOS GRÃOS DE CAFÉ DURANTE A TORRA¹

VITORINO, M.D.²; FRANCA, A.S.²; OLIVEIRA, L.S.² E RODRIGUES, M.A.A.²

¹ Apoio: CAPES/CPGEQ-UFMG, CNPq, FAPEMIG, Sindicafé-MG.

² Dep. Engenharia Química/UFMG - R. Espírito Santo, 35 - 6º andar - 30160-030 Belo Horizonte-MG,
Telefone: 32381780 - Fax: 32381789, franca@deq.ufmg.br

RESUMO: A qualidade final do café, caracterizada pelo sabor e aroma, é resultante da combinação de centenas de compostos que são produzidos por reações pirolíticas e outras que ocorrem durante a torrefação. A cinética de torrefação não está totalmente compreendida, em razão de o número de compostos envolvidos nas reações ser grande e, também, devido ao fato de muitos dos compostos presentes não terem sido identificados. Nesse sentido, este trabalho é parte integrante de um projeto de pesquisa que objetiva o estabelecimento de critérios de qualidade para cafés torrados, com base em uma maior fundamentação científica e correlacionando as características físico-químicas da matéria-prima e os parâmetros de processamento (torrefação) com a qualidade do produto final de consumo. Para isso, será efetuado um estudo do processo de torrefação, de forma a elucidar aspectos de cinética de torrefação, tendo em vista um controle mais rigoroso do processo e a conseqüente melhoria da qualidade do produto. O presente trabalho caracteriza-se como uma primeira etapa deste estudo, em que a evolução do teor de umidade e voláteis de grãos de café durante a torra é modelada matematicamente. Foram utilizados modelos usuais para representar a secagem de grãos. Os modelos avaliados demonstraram representar bem a variação de umidade e voláteis durante a torra.

Palavras-chave: modelos de secagem, qualidade de bebida.

MODELLING THE EVOLUTION OF MOISTURE CONTENT AND VOLATILE COMPOUNDS OF COFFEE GRAINS DURING THE ROASTING PROCESS

ABSTRACT: The quality of coffee used for beverage, identified by its flavor and aroma, results from the combination of hundreds of chemical compounds produced during roasting. The roasting process is not well understood, due to the great number of substances that take part in the chemical reactions, many of which have not yet been identified. Therefore, the present article is part of a research project that aims the

establishment of scientifically based quality criteria for roasted coffee, correlating green coffee properties and processing conditions to product quality. This will be based on a study of the roasting process, in order to elucidate roasting kinetics. In the present work, the first step in such study, the evolution of moisture and volatile components loss during roasting was monitored and modeled by employing drying models. The models used were able to describe well the evolution of moisture and volatiles during roasting.

Key words : drying models; quality of coffee beverage.

INTRODUÇÃO

O café verde é desprovido do agradável aroma, mundialmente apreciado, do café torrado. Uma infusão aquosa de seus grãos é amarga e desagradável ao paladar. Contudo, o aquecimento controlado destes grãos dá origem a uma série de reações químicas que geram os vários compostos aromáticos responsáveis pelo sabor e aroma da bebida e do produto seco. Esse processo de pirólise moderada dos grãos é denominado torrefação.

O processo de torrefação pode ser dividido em três fases consecutivas: secagem, torrefação e resfriamento. A fase de secagem é caracterizada pela liberação de água e compostos voláteis presentes nos grãos. Esta fase é lenta, sendo responsável por aproximadamente metade do tempo total de processamento. Durante esse período, a cor dos grãos muda de verde para amarelo. A segunda fase, ou torrefação propriamente dita, é caracterizada por reações de pirólise que resultam numa modificação drástica da composição química dos grãos, acoplada à liberação de grandes quantidades de gás carbônico. A temperatura dos grãos varia de 160 a 230°C. Os grãos de café escurecem (cor marrom) devido à caramelização dos açúcares. O final desta etapa é caracterizado pelo estouro dos grãos, cujo volume duplica. A partir desse ponto, faz-se necessário o resfriamento imediato dos grãos (terceira fase), para evitar a sua carbonização.

O grau de torrefação pode ser medido pela cor ou pela perda de peso que ocorre durante o processo. A redução de peso é uma consequência da perda de umidade e de uma fração de material orgânico volatilizado durante o processo pirolítico. O teor de umidade decresce com a torrefação, atingindo teor menor que 2% tanto para o café Arábica quanto para o café Robusta (Sivetz e Desrosier, 1979).

Este trabalho é parte integrante de um projeto de pesquisa que objetiva efetuar um estudo do processo industrial de torrefação de café, no sentido de aprimorar os conhecimentos sobre este e de possibilitar a correlação entre as características da matéria-prima e os parâmetros de processamento com a qualidade do produto final de consumo. Propõe-se, neste trabalho, a modelagem da perda de umidade e de compostos voláteis por grãos de café durante o processo de torrefação.

METODOLOGIA

Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada nos ensaios de torrefação foram grãos verdes de café tipo arábica provenientes da região do Vale do Jequitinhonha-MG (C1) e da região de Viçosa-MG (C2). Os grãos de café C1 e C2 foram classificados pela prova de xícara como bebidas riada/rio e mole, respectivamente.

Torrefação

O sistema utilizado na torrefação dos grãos consistiu de um cilindro rotativo acoplado a um sistema de captação dos gases de exaustão. O torrefador, em movimento rotativo a 40 rpm, era pré-aquecido e então carregado com 1.500 g de café. A torra era finalizada quando se verificava a queima dos grãos, caracterizada pela liberação excessiva de fumaça, pelo cheiro característico de café queimado e por uma coloração escura dos grãos. Foram efetuados ensaios de torra, em duplicata, utilizando os cafés C1 e C2. Durante cada ensaio, foram coletadas amostras dos grãos a cada dois minutos. Estas amostras foram acondicionadas em placas de Petri previamente pesadas.

Teor de Umidade e Voláteis

As amostras destinadas à avaliação do teor de umidade e voláteis dos grãos foram armazenadas em um dessecador até atingirem a temperatura ambiente e, em seguida, o conjunto amostra/placa de Petri foi pesado em balança analítica. A metodologia utilizada na determinação do teor de umidade dos grãos de café consistiu em secar a amostra em estufa por 16 horas a 103°C (Clarke e Macrae, 1987). Durante o procedimento, a tampa da placa de Petri foi mantida na estufa. Após esse período, a placa de Petri foi tampada e a amostra foi retirada da estufa e acondicionada em um dessecador. Após atingir a temperatura ambiente, o conjunto amostra/placa de Petri foi novamente pesado e o teor de umidade foi calculado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir são referentes a ensaios de torra efetuados em duplicata, utilizando grãos de café C1 e C2, conforme descrito no item matéria-prima. Esses resultados correspondem a valores médios, e as barras de erro são referentes ao desvio-padrão de cada medida. Foi efetuada a monitorização da temperatura dos gases na saída do torrefador, de forma a verificar e garantir que as condições de operação do equipamento fossem as mesmas para todos os testes efetuados. Os perfis de temperatura obtidos são apresentados na Figura 1.

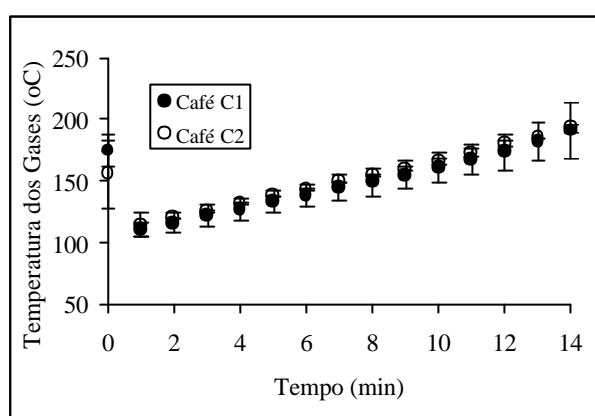


Figura 1 - Evolução do perfil de temperatura dos gases na saída do torrefador.

Uma análise dos perfis de temperatura (Figura 1) indica que as condições de aquecimento foram equivalentes para os testes efetuados, visto que os valores médios de temperatura são praticamente os mesmos para os testes efetuados com as duas qualidades de café (C1 e C2). Observa-se queda brusca de temperatura durante o primeiro minuto de torra, seguida de aumento de temperatura até o final do processo. Esta queda de temperatura está associada à introdução dos grãos verdes (~ 25 °C) no torrefador pré-aquecido (~ 165 °C na saída dos gases). Esse comportamento não foi o mesmo observado nos testes preliminares (Franca et al., 2001), nos quais foi monitorizada a temperatura dos gases no interior do equipamento. Neste caso, observou-se diminuição suave da temperatura durante o início da torra. Este comportamento, característico de um processo endotérmico, foi decorrente da eliminação de umidade e voláteis e de aquecimento dos grãos durante a fase de secagem. Após atingir um valor mínimo, a temperatura aumentou até o final da torrefação. Esse aumento de temperatura foi devido ao fornecimento contínuo de calor, conjugado às reações exotérmicas de pirólise.

Apresenta-se, na Figura 2, a variação do teor de umidade e voláteis dos grãos durante a torrefação. Considerando que o principal componente do grão que é liberado, tanto na fase de secagem como na fase de pirólise, é a água, utilizar-se-á a terminologia teor de umidade para representar o teor de umidade e voláteis. Uma análise da Figura 2 indica que o decréscimo do teor de umidade pode ser caracterizado por três fases distintas. A primeira fase, que ocorre durante os primeiros dois minutos de torra, é caracterizada por diminuição suave do teor de umidade. A partir daí, a taxa aumenta e permanece constante (segunda fase). A terceira fase é caracterizada por uma taxa decrescente de variação do teor de umidade até se tornar praticamente nula (a partir de aproximadamente 12 min). Esse comportamento da variação do teor de umidade, e voláteis durante a torrefação é semelhante ao observado para a variação do teor de umidade durante o processo de secagem de grãos (Strumillo e Kudra, 1986).

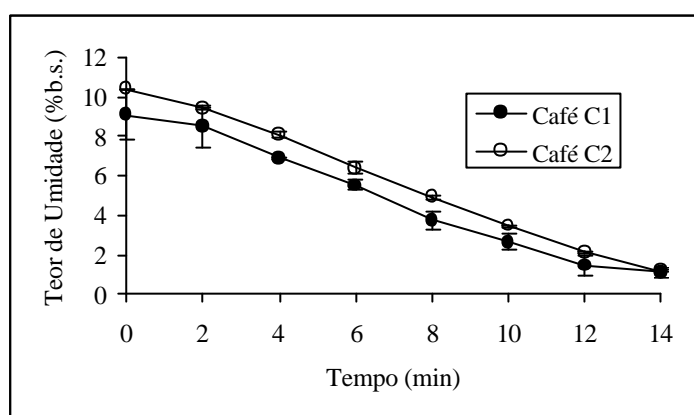


Figura 2 - Variação do teor de umidade e voláteis dos grãos de café durante o processo de torrefação.

Uma comparação entre as curvas obtidas para os cafés C1 e C2 demonstra um comportamento análogo, com aproximadamente a mesma taxa de decréscimo de umidade durante a segunda fase e o mesmo teor de umidade ao final do processo (~1,2 % b.s.). No entanto, o teor de umidade do café C1 foi sempre inferior ao teor de umidade do café C2. Isso era esperado, uma vez que o teor inicial de umidade do café C1 (9,1 % b.s.) era inferior ao do café C2 (10,4 % b.s.). Vale ressaltar que, aos 12 minutos de torra, o teor de umidade é de aproximadamente 2% tanto para o café C1 como para o café C 2. Valores similares de teor de umidade foram reportados na literatura para café torrado comercial (Almeida et al., 1999).

Tendo em vista a similaridade do comportamento das curvas de variação de teor de umidade para os processos de torrefação e secagem, dois modelos de secagem foram aplicados aos resultados experimentais referentes à torrefação. Apresentam-se, a seguir, as equações genéricas dos modelos.

Modelo 1 (Strumillo e Kudra, 1986):

$$\frac{X_1 - X}{X - X_{eq}} = \frac{X_1 - X_{1eq}}{X_{1eq} - X_{eq}} \exp[K(X_1 - X_{eq})t] \quad (1)$$

em que X_1 é o teor de umidade inicial dos grãos, X é o teor de umidade dos grãos no tempo t , X_{eq} é o teor de umidade de equilíbrio dos grãos, X_{1eq} é o teor de umidade inicial de equilíbrio dos grãos, K é o coeficiente da taxa de secagem e t é o tempo de secagem.

Modelo 2 (Madamba et al., 1996):

$$\frac{X - X_{eq}}{X_1 - X_{eq}} = \exp(-Kt^n) \quad (2)$$

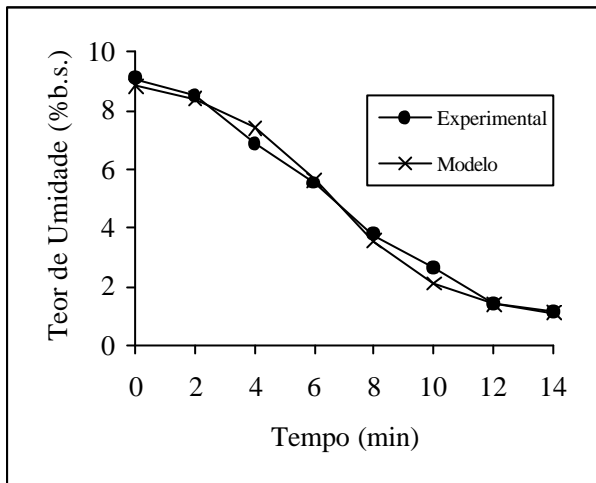
em que n é o coeficiente do modelo.

Os parâmetros utilizados na obtenção das curvas de secagem generalizadas, eqs. (1) e (2), são apresentados na Tabela 1.

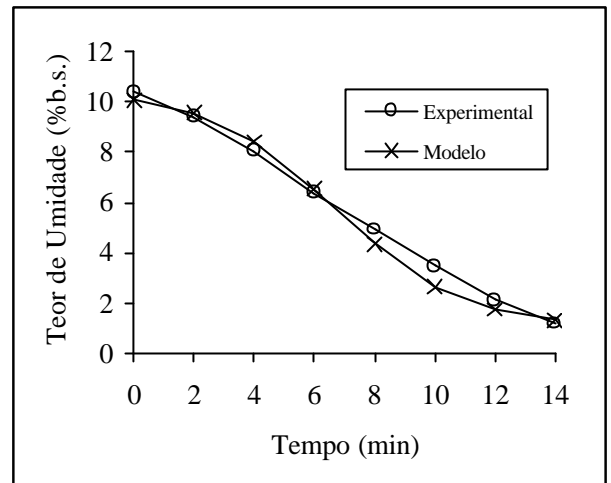
Tabela 1 - Parâmetros dos modelos de secagem

Modelo	Parâmetro	Café C1	Café C2
1	K	6,5731	5,1798
	X_1	0,0907	0,1041
	X_{eq}	0,0100	0,0107
	X_{1eq}	0,0883	0,1006
2	X_1	0,0907	0,1041
	X_{eq}	0,0100	0,0107
	K	0,0178	0,0208
	n	1,9813	1,8376

As comparações entre os dados experimentais e os valores preditos pelos modelos 1 e 2 são apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

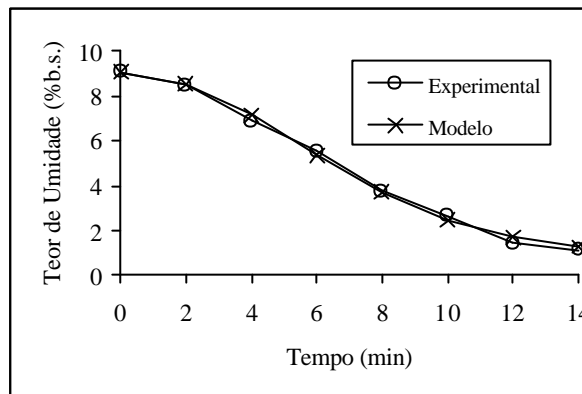


(a)

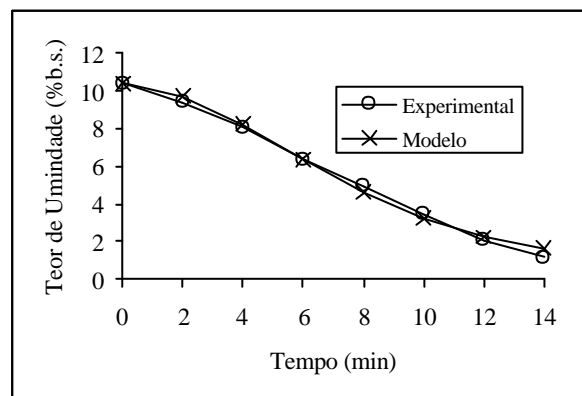


(b)

Figura 3 - Comparação entre os valores experimentais e preditos da variação do teor de umidade dos grãos (a) C1 e (b) C2, utilizando o modelo 1.



(a)



(b)

Figura 4 - Comparação entre os valores experimentais e preditos da variação do teor de umidade dos grãos (a) C1 e (b) C2, utilizando o modelo 2.

Os resultados apresentados nas Figuras 3 e 4 demonstram que os modelos de secagem são representativos do comportamento da curva de teor de umidade dos grãos de café durante o processo de torrefação. Uma comparação entre as Figuras 3 e 4 indica que o modelo 2 representa melhor o comportamento da curva de variação do teor de umidade dos grãos. A diferença média entre os dados experimentais e o modelo 1 foi de 0,22% b.s. para o café C1 e 0,37 % b.s. para o café C2. A diferença média entre os dados experimentais e o modelo 2 foi de 0,15% b.s. para o café C1 e 0,21% b.s. para o café C2. Vale a pena ressaltar que, embora os modelos de secagem propiciem uma descrição adequada da variação do teor de umidade na torra, não existe uma correspondência de significado físico dos parâmetros do modelo de secagem em relação ao processo de torrefação. O que se deve ao fato de que, na torrefação, ocorre a formação e liberação de água durante as reações de pirólise. Portanto, a curva de variação do teor de umidade representa a soma da água originalmente presente nos grãos, da água resultante da pirólise destes e dos compostos voláteis liberados durante o processo.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar e modelar matematicamente a evolução do teor de umidade e voláteis de grãos de café durante a torra. Foram utilizados modelos comumente utilizados para representar a secagem de grãos. Os modelos avaliados demonstraram representar bem a variação de umidade e voláteis durante a torra. No entanto, não existe uma correspondência de significado físico dos parâmetros dos modelos de secagem em relação ao processo de torrefação, o que se deve ao fato de que, na torrefação, ocorre a formação e liberação de água durante as reações de pirólise. Dessa forma, a curva de variação do teor de umidade representa a soma da água originalmente presente nos grãos verdes, da água resultante da pirólise destes, e dos compostos voláteis liberados. Uma comparação entre as curvas obtidas para amostras de café bebida riada/rio (C1) e bebida mole (C2) demonstra um comportamento análogo, com aproximadamente a mesma taxa de decréscimo de umidade durante a segunda fase e o mesmo teor de umidade ao final do processo. No entanto, o teor de umidade do café C1 foi sempre inferior ao teor de umidade do café C2.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração de Israel de Souza Costa (Ministério da Agricultura) na classificação das amostras de café utilizadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. M., D'ANDRÉA, C. H. S., FEIJÓ, F. D., OLIVEIRA, R. G., TEIXEIRA, E. F., VITORINO, M. D., e FRANCA, A. S. Estudo do Processo Convencional de Torrefação de Café, Anais da 6ª Jornada de Engenharia Química Uberlândia, MG, 155 - 158, 1999.
- CLARKE, R. J.; MACRAE, R. Coffee Volume 2: Technology, Amsterdam: Elsevier Applied Science, 321p, 1987.
- FRANCA, A. S., OLIVEIRA, L. S., BORGES, M. L. A, VITORINO, M. D. Evolução da Composição do Extrato Aquoso de Café durante o Processo de Torrefação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, vol. especial, n. 2, p. 37-47, 2001.
- MADAMBA, P.S., DRISCOLL, R.H. e BUCKLE, K.A. The thin-layer characteristics of garlic slices, **Journal of Food Engineering**, 29, 75-97, 1996.
- SIVETZ, M. e DESROSIER, N.W. Coffee Technology, AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, 716 p., 1979.
- STRUMILLO, C. e KUDRA, T. Topics in Chemical Engineering: Drying - Principles, Applications and Design, Gordon and Breach Science Publishers, vol. 3, 69-97, 1986.