

## TEMPERATURA DA MASSA DOS GRÃOS DE CAFÉ AO ATINGIR OS DIFERENTES GRAUS DE TORREFAÇÃO

Guillermo Asdrúbal Vargas Elías<sup>1</sup>, Paulo César Corrêa<sup>2</sup>, Fernanda Machado Baptestini<sup>3</sup>, Aline Almeida da Paixão<sup>4</sup>, Rafael Leite de Freitas<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Doutorando DEA-UFV, Viçosa – MG, guillermo.elias@ufv.br,

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, DS., Professor Adjunto do DEA-UFV, Viçosa – MG, copace@ufv.br,

<sup>3</sup> Eng. Agrícola e Ambiental, Mestranda DEA-UFV, Viçosa – MG, fernanda.baptestini@ufv.br,

<sup>4</sup> Eng. Agrícola e Ambiental, Mestranda DEA-UFV, Viçosa – MG, aline.paixão@ufv.br,

<sup>5</sup> Graduando em Eng. Agrícola e Ambiental, DEA-UFV, Viçosa – MG, rafael.freitas@ufv.br

**RESUMO:** O controle da torrefação dos grãos de café é feito normalmente pelo operador segundo a informação da temperatura do equipamento. Os equipamentos usados no processo de torrefação têm pelo menos um sensor de temperatura que serve para identificar, registrar a temperatura do torrefador e controlar o processo final de torrefação do café. Objetivou-se com este trabalho correlacionar as temperaturas do torrefador, com a temperatura da massa de grãos e com o tempo de torrefação. Para atingir determinados graus de cor nos grãos. Foram utilizadas amostras de 350 g de café arábica classificadas como estritamente mole, com tamanho acima da peneira n.º 17, com índices da cor médio claro, médio, moderadamente escuro e escuro, o processo de torrefação deu-se em um torrefador rotativo perfurado de combustão direta a gás, e às temperaturas de 255, 285, 305 e 355 C do torrefador. Adaptaram-se experimentalmente equações potenciais para representar satisfatoriamente a relação entre o tempo de torrefação e a temperatura do torrefador. Equações lineares, representaram adequadamente a interação da temperatura do torrefador com a temperatura da massa dos grãos. Observou-se que há um perfil de aquecimento dos grãos, correspondente para cada temperatura no torrefador, que permite ser utilizado como um dos principais parâmetros da torrefação associado ao índice da cor nos grãos.

**Palavras-Chave:** Medição da temperatura, aquecimento dos grãos, processo de torrefação, cor dos grãos, *Coffea arábica*.

## TEMPERATURE MEASUREMENT OF GRAINS MASS OF COFFEE IN THE DEFERENT ROASTING DEGREE

**ABSTRACT:** The control of roasting coffee is made by the operator, following the equipment temperature information. Roasting equipments have at least one temperature sensor that function to identify, register or control the final process in roasting coffee. The main objective in this work was to associate temperatures equipment to grain mass temperature, with the roasting time. It was used a perforated rotating roaster of gas flaring straight and Arabic coffee samples of 350 g classified as *strictly soft*, bean size with oversized 17 sieve number, submitted to 255, 284, 305 and 355°C of roasting process, and roasting degree *medium light*, *medium*, *moderately dark*, and *dark*. It was adapted potential equations to represent the interaction of the variables of roasting time and roaster temperature. It was adapted linear equation to represent the interaction of roaster temperature and grains temperature. It was determined that there is a heating profile of the grains corresponding to each temperature in the roaster, it allows to be used as a main parameter of roasting coffee and associated with color roasting degree.

**Key word:** Temperature measurement, grains heating, roasting process, roasting color degree, *Coffea arábica*.

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os setores da cadeia produtiva do café no Brasil vêm concentrando esforços na busca da melhoria da qualidade de seus produtos. Uma das etapas de particular relevância na qualidade de bebida é o processo de torrefação do café, sendo considerada uma etapa crítica na industrialização do produto (CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ – CBPDC, 2004).

O processo de torrefação, segundo Sivetz e Desrosier (1979), pode ser dividido em três etapas consecutivas: secagem, torrefação e resfriamento. Na primeira, perde-se massa em razão da eliminação de água e liberação de compostos voláteis presentes nos grãos. Nesse estágio, os grãos mudam da cor verde para amarela. A segunda etapa é caracterizada por reações exotérmicas de pirólise, que resultam na modificação da composição química dos grãos, pela liberação de grandes quantidades de gás carbônico. Nesse estágio, as cores nos grãos mudam de marrom-claro a escuro, principalmente devido à caramelização dos açúcares. A terceira etapa é necessária para promover a imediata redução da temperatura com a injeção de ar frio ou aspersão de água, evitando a carbonização do produto.

Cortez (2001) relacionou as variáveis de temperatura com a perda da água dos grãos de café arábica, durante a torrefação e verificou que, até os grãos atingirem 105°C, não há atividade química entre 105 e 150°C, por se tratar de uma fase endotérmica, há produção de CO<sub>2</sub> que aumenta o tamanho dos grãos, e a partir de 150°C, inicia-se uma fase de reações exotérmicas, pela reação entre aminoácidos e sacarose, chamadas de “Reações de Maillard”, formadoras do

gosto e do aroma do café. Essas reações perduram até cerca de 230°C, quando as reações químicas são esgotadas, iniciando a degradação de outros componentes do café como a celulose, as pentosanas, os lipídios insaponificáveis, dentre outros. Nesse momento, o processo deve ser interrompido pelo resfriamento.

Em relação ao tempo, foram feitos estudos com torrefadores elétricos com tempos de 10 a 25 min e temperaturas de 200 e 230°C, (MOURA et al., 2007) e também para temperaturas de 200 a 240°C, com tempos de 0 a 70 min (MWITHIGA e JINDAL, 2003).

Existem poucas referências na literatura em relação aos torrefadores rotativos horizontais a gás e com cilindro perfurado, que são usados há muito tempo pelas indústrias torrefadoras e a nível de laboratórios em análises de amostras. Este tipo de estudos são necessários para obterem informações sobre as características desse tipo de torrefador. Baggenstoss (2008) referência que neste tipo de torrefador, a transferência de calor é realizada principalmente por condução e que o processo de torrefação é mais demorado em comparação com os outros tipos de torrefadores.

O controle da torrefação é feito normalmente pela temperatura do torrefador, mas também pode ser controlado pela temperatura da massa dos grãos. Pesquisadores como Nicoli et al. (1995), Schenker (2000), Cortez (2001), Hernández et al. (2007) e Alessandrini et al. (2008) observaram que a temperatura do produto está associada à perda de água e às transformações da matéria seca, o que faz iniciar o processo de pirólise. Esse processo é o que determina as características de odor, cor e sabor dos grãos de café torrados (FRANÇA et al., 2002).

Illy e Viani (1995) indicaram que o principal parâmetro do processo da torrefação é a quantidade de calor transferida aos grãos, o que pode ser determinado pela temperatura dos grãos e pelo tempo de torrefação. Os mesmos autores indicaram que a coloração dos grãos esta correlacionada com a temperatura final dos grãos.

Segundo Hernández et al. (2007), a medição da temperatura pode ser obtida na superfície da massa dos grãos. Esses autores demonstraram que, no início da torrefação, a temperatura medida no interior do grão é diferente da temperatura superficial. Ao final da torrefação, a diferença entre temperaturas é nula. Isso quer dizer que a gradiente de temperatura no interior do grão desaparece ao final da torrefação, com ar quente nas temperaturas entre 190 e 300°C.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é correlacionar as diferentes temperaturas do torrefador, com o tempo de torrefação e com a temperatura da massa de grãos para atingir as escalas de cores.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Qualidade Sensorial e no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

### Matéria-prima

Utilizaram-se grãos de café *Coffea arabica* L. variedade Catuaí Vermelho, beneficiados, com tamanho acima da peneira 17, teor de água inicial de 0,139 base seca ( $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$ ), provenientes de uma unidade beneficiadora de café localizada em Viçosa, MG.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno e armazenadas em câmara fria a uma temperatura em torno de 18°C, a fim de se manterem as características iniciais do produto até sua torrefação. Antes das operações de torrefação, as amostras foram retiradas da câmara fria e expostas à temperatura ambiente por aproximadamente 12 horas, visando o equilíbrio térmico para minimizar as alterações relacionadas à temperatura.

### Processo de torrefação

O torrefador utilizado (Figura 1), possui um cilindro com movimento rotativo de 45 rpm, de capacidade de 350g de café cru. A taxa de consumo do combustível foi mantida constante para a obtenção da temperatura estável no torrefador durante todo o processo. As temperaturas médias de torrefação foram de 255, 285, 305 e 335°C.



Figura 1 - Torrefador a gás de quatro cilindros rotativos de combustão direta.

Para obterem as quatro cores de torrefação nos grãos, numa mesma temperatura, foram necessários diferentes tempos no processo. Um profissional qualificado na área auxiliou os trabalhos, de modo a se obter as amostras desejadas de acordo com o padrão de cores.

#### **Avaliação da cor**

As quatro escalas de cores do café torrado foram classificadas segundo a Tabela Agtron por inspeção visual, segundo a cor dos grãos, em *médio claro* (MC), *médio* (M), *moderadamente escuro* (ME) e *escuro* (E).

#### **Determinação da temperatura**

O processo de torrefação foi iniciado com temperatura mais baixa (255 °C), e aumentando, de modo gradativo, até chegar à temperatura mais alta (335°C).

Para estabilização da temperatura no interior do cilindro rotativo foi feito o pré-aquecimento de 20 min do torrefador.

A temperatura média do torrefador foi medida na parede interna do cilindro e a temperatura da amostra foi medida na superfície dos grãos.

Usou-se um termômetro infravermelho, marca Mult-Temp portátil, que fornece leituras entre -50 e 500°C, com tempo de resposta de 1 segundo e resolução de 0,1°C, numa distância de 20 cm entre o medidor o alvo.

Considerou-se fazer duas leituras na parede do cilindro para calcular a média de temperatura do torrefador. A determinação da temperatura do café foi feita na superfície da massa de grãos ao final da torrefação, no instante em que se precedeu a retirada do material do cilindro do torrefador.

#### **Análise estatística**

No total, foram conduzidos 16 tratamentos em 3 repetições, com uma diferença de 7 dias entre si. Sendo o experimento realizado em um esquema de parcelas subdivididas em um delineamento inteiramente casualizado, tendo nas parcelas as temperaturas 255, 285, 305 e 335°C e, nas subparcelas os quatro níveis de torrefação segundo a cor dos grãos: *médio claro* (MC), *médio* (M), *moderadamente escuro* (ME) e *escuro* (E). Os modelos matemáticos foram escolhidos a partir do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Tempo e temperatura de torrefação**

Os tempos máximos e mínimos de torrefação neste estudo foram de 33 e 9 min associados às temperaturas de 255 e 335°C, respectivamente. Com base na Tabela 1, pode-se observar as médias do tempo decorrido para que as amostras atingissem a cor característica, segundo o grau de torrefação dos grãos. Verificou-se o efeito direto da temperatura do torrefador com o tempo de torrefação. Visto que, o tempo diminuiu significativamente quando se aumentou a temperatura do torrefador. Além disso, o aumento da temperatura no torrefador diminuiu a diferença nos intervalos do tempo de 8 para 1,4 min, isto é nas cores do café desde *médio claro* ao *escuro*.

**Tabela 1** - Tempo necessário (min) para os grãos de café atingirem o nível de torrefação *médio claro* (MC), *médio* (M), *moderadamente escuro* (ME) e *escuro* (E) <sup>1</sup>

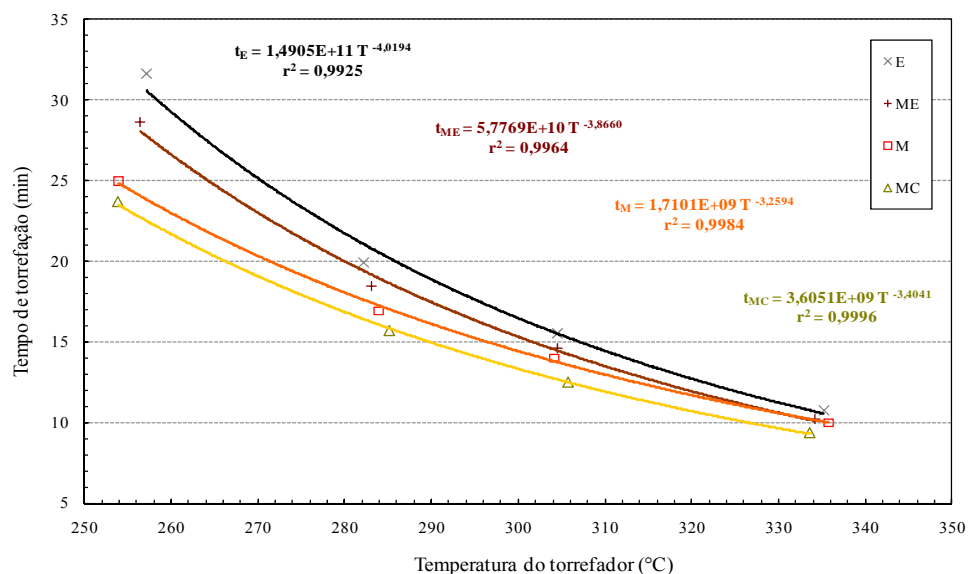
Cor	Temperatura do torrefador (°C)			
	255	285	305	335
MC	23,67 d	15,67 d	12,47 c	9,33 c
M	25,00 c	16,92 c	14,00 b	9,97 b
ME	28,67 b	18,43 b	14,60 b	10,17 ab
E	31,67 a	19,94 a	15,56 a	10,73 a
<sup>2</sup> Δt	8,0	4,3	3,1	1,4

<sup>1</sup> As medias seguidas por a mesma letra nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> Diferença entre dado inicial e final da coluna.

Com base na Tabela 1, pode-se verificar que há diferença significativa entre os tempos e às temperaturas de 255 e 285°C, o que justifica sua utilidade como um dos parâmetros principais para obter os quatro tipos de cores nos grãos. Assim desta forma, o tempo de torrefação está associado a cada temperatura e determina grau de torrefação de cada amostra.

Observa-se pela Figura 2 que a relação entre o tempo e a temperatura de torrefação é representada adequadamente por equações potenciais, com coeficientes de determinação ( $r^2$ ) superiores a 0,992. Cada linha representa um grau de torrefação nos grãos.

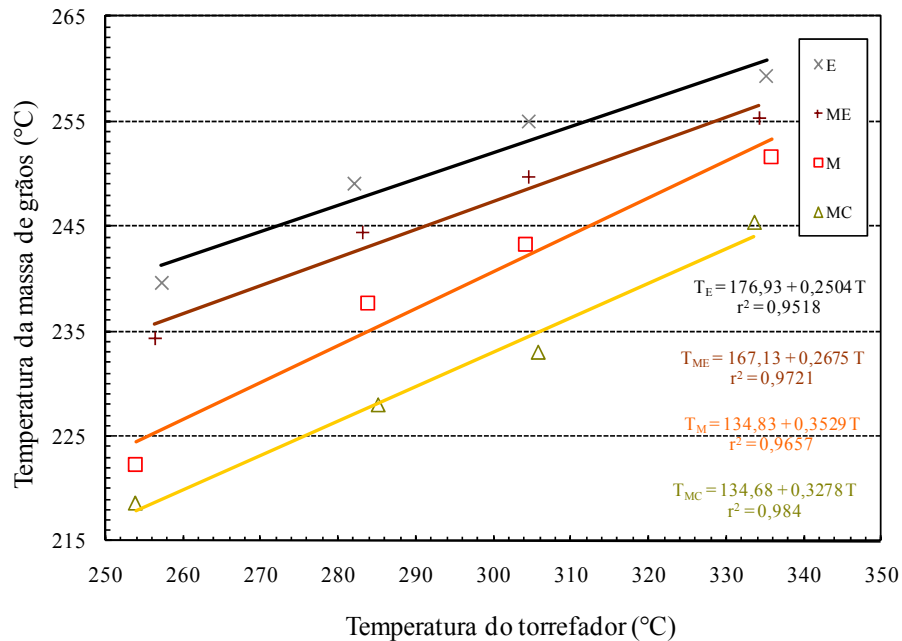


**Figura 2** - Linhas do mesmo grau de torrefação nos grãos de café, classificados segundo a cor em *médio claro* (Δ), *médio* (□), *moderadamente escuro* (+) e *escuro* (x) em relação com os parâmetros finais da torrefação.

O ábaco dos resultados, mostrado na Figura 2 atende às necessidades dos torrefadores, pois integra os dois principais parâmetros de torrefação, o tempo e a temperatura do torrefador. Os ajustes potenciais servem para prever o tempo de torrefação, variando as temperaturas no torrefador para o grau de torrefação definido. Estes resultados estão de acordo com Nagaraju et al. (1995), estabeleceram que a equação não é linear.

### Temperatura final da massa dos grãos

Na Figura 3, é verificado que um aumento de temperatura no torrefador causou aumento proporcional de temperatura na massa de grãos para se obter a mesma cor entre amostras. Observa-se que as equações lineares representam adequadamente a relação entre a temperatura do torrefador e a temperatura da massa de grãos, essas foram calculadas com coeficientes de determinação ( $r^2$ ) acima de 0,951.



**Figura 3** – Relação entre a temperatura da massa dos grãos e do torrefador quando o café atingir o grau de torrefação médio claro ( $\Delta$ ), médio ( $\square$ ), moderadamente escuro (+) e escuro (x).

Pela Figura 3, se observa que quando a massa de grãos atingiu a temperatura de 240°C, o grau de torrefação tipo *escuro* foi obtido quando o aquecimento do torrefador foi de 255 C. Para grãos tipo *médio claro* foram obtidos quando a massa de grãos atingiu a temperatura de 245°C, correspondendo a 335 °C do torrefador. Segundo essa análise, antes do final da torrefação é recomendável abaixar a temperatura do torrefador até atingir uma cor desejada nos grãos e evitar o aumento proporcional da temperatura na massa de grãos, o que seria uma característica indesejável no processo de torrefação devido ao risco de queima do produto.

A máxima temperatura dos grãos foi de 260°C, com máxima no torrefador de 335°C e índice de cor *escuro* no final do processo. Os resultados deste trabalho estão de acordo com as observações feitas por Mwithiga e Jindal (2003), que mediram a temperatura dos grãos em movimentação e observaram que quando se utilizava-se altas temperaturas na superfície do cilindro, aumentava-se, consideravelmente, a temperatura da massa de grãos no final da torra para o mesmo índice da cor.

As temperaturas médias finais não superaram os 260°C para a massa de grão, o que está no limite da torrefação e das reações exotérmicas. Acima dessa temperatura, os grãos começam a oxidar, resultando na indesejável queima dos grãos (COSTE, 1968 citado por HERNÁNDEZ et al., 2008).

### Taxa de aquecimento dos grãos

Pela Figura 2 observa-se que o aquecimento do torrefador implica na diminuição proporcional dos tempos de torrefação, bem como dos intervalos, para se obterem amostras desde torras claras até escuras.

Quando se estabilizou o torrefador às temperaturas de 255, 285 e 305°C, houve diferença de pelo menos 21°C na temperatura da massa de grãos entre amostras com a cor *médio claro* a *escuro* e essa diferença diminuiu para 14°C quando estabeleceu-se a temperatura do torrefador em 335°C. De posse desses valores de temperatura da massa de grãos e com os intervalos de tempo respectivos, (Tabela 1), calcularam-se as taxas de aquecimento total dos grãos, que foram 2,6; 4,9; 7,1 e 10°C min<sup>-1</sup> para as temperaturas do torrefador de 255, 285, 305 e 335°C, respectivamente.

### CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos no presente trabalho e nas condições estabelecidas, conclui-se que a temperatura da massa dos grãos ao final do processo da torrefação está em relação direta com a temperatura do torrefador e com o tempo de torrefação. As relações estabelecidas foram equações potenciais para predizer o tempo de torrefação a partir da temperatura do torrefador e as equações lineares para representar o aquecimento proporcional da massa de grãos quando se aumentou a temperatura do torrefador para cada nível da cor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESSANDRINI, L.; ROMANI, S.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M. Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree. **Analytica Chimica Acta**, v. 625, p. 95-102, 2008.
- BAGGENSTOSS, J. **Coffee roasting and quenching technology**: formation and stability of aroma compounds. 2008. Tese (Doutorado) – Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, Zurique, Suíça.
- BAGGENSTOSS, J.; POISSON, L.; KAEGI, R.; PERREN, R.; ESCHER, F. Roasting and aroma formation: effect of initial moisture content and steam treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 5847-5851, 2008.
- CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ – CBPDC. **Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café**. Brasília, 2004.
- CORTEZ, J.G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- FRANÇA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.; VITORINO, M.D. Efeito da taxa de aquecimento na evolução da perda de massa e teor de umidade de grãos de café durante a torra. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. especial, n. 4, p. 3-8, 2002.
- HERNÁNDEZ, J.A.; HEYD, B.; IRLES, C.; VALDOVINOS, B.; TRYSTRAM, G. Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1141-1148, 2007.
- HERNÁNDEZ, J.A.; HEYD, B.; TRYSTRAM, G. On-line assessment of brightness and surface kinetics during coffee roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 314-322, 2008.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Express coffee**: the chemistry of quality. London: Academic Press, 1995. 253 p.
- MOURA, S.C.S.R.; GERMER, S.P.M.; ANJOS, V.D.A.; MORI, E.E.M.; MATTOSO, L.H.C.; FIRMINO, A.; NASCIMENTO, C.J.F. Influência dos parâmetros de torração nas características físicas, químicas e sensoriais do café arábica puro. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 1. p. 17-25, 2007.
- MWITHIGA, G.; JINDAL, V. Physical changes during coffee roasting in rotary conduction-type heating units. **Journal of Food Process Engineering**, v. 26, p. 543-548, 2003.
- NAGARAJU, V.D.; MURTHY, C.T.; RAMALAKSHMI, K.; RAO, P.N.S. Studies on roasting of coffee beans in a spouted bed. **Journal of Food Engineering**, v. 31, n. 2, p. 263-270, 1997.
- NICOLI, M.; ANESE, M.; MANZOCCO, L.; LERICI, C.R. Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 30, p. 292-297, 1997.
- SCHENKER, S. **Investigations on the hot air roasting of coffee beans**. 2000. Tese (Doutorado) - Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, Zurique, Suíça.
- SIVETZ, M.; DESROSIER, N.W. **Coffee technology**. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, 1979. 716 p.