

**Modelagem das condições operacionais de torrefação e análise dos seus efeitos sobre a cor do café**

**Modeling of operating roasting conditions and analysis of their effects on coffee color**

DOI:10.34117/bjdv6n11-076

Recebimento dos originais: 19/10/2020

Aceitação para publicação: 05/11/2020

**Uilla Fava Pimentel**

Doutoranda

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola de Química

Endereço: Av Muniz de Araujo, SN/Escola de Químicas/Cidade universitária/21941-972/ Rio de Janeiro/Rio de Janeiro/ Brasil

E-mail: uilla@eq.ufrj.br

**Luiza Mellhem**

Graduanda

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola de Química

Endereço: Av Muniz de Araujo, SN/Escola de Químicas/Cidade universitária/21941-972/ Rio de Janeiro/Rio de Janeiro/ Brasi

E-mail: luizamelhm@gmail.com

**José Faustino Souza de Carvalho Filho**

Pós-doutorando

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola de Química

Endereço: Av Muniz de Araujo, SN/Escola de Químicas/Cidade universitária/21941-972/ Rio de Janeiro/Rio de Janeiro/ Brasil

E-mail: austinocarvalho@gmail.com

**Verônica Maria de Araújo Calado**

Pós-doutorado

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola de Química

Endereço: Av Muniz de Araujo, SN/Escola de Químicas/Cidade universitária/21941-972/ Rio de Janeiro/Rio de Janeiro/ Brasil

E-mail: calado@eq.ufrj.br

**Adriana Farah**

Pós-doutorado

Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Instituto de Nutrição/ Laboratório de Química e Bioatividade de Alimentos

Instituto de nutrição/ Universidade do Rio de Janeiro/ Ilha do Fundão/ CCS, Bloco J/ 21941-902/ Rio de Janeiro/ Rio de Janeiro/Brasil

E-mail: afarah@nutricao.ufrj.br/afarah@iq.ufrj.br

**RESUMO**

A torrefação é uma das etapas principais do processamento de café. As cinéticas das reações químicas que ocorrem durante a torrefação, tais como reação de Maillard, pirólise e caramelização, são determinadas por condições específicas como temperatura e tempo, havendo poucos dados sobre o efeito da variação da pressão. A Reação de Maillard consiste em um conjunto de reações químicas entre açúcares redutores e aminoácidos que levam à formação de compostos de aroma, sabor e cor. As reações de caramelização, entre açúcares, também contribuem para esses parâmetros. A cor, gerada por diferentes polímeros, é uma indicação visível do grau de torrefação e pode ser medida instrumentalmente. Diante disso, este trabalho foi realizado para compreender o efeito das interações entre temperatura, tempo e pressão de torrefação sobre a cor do café. Para isso, grãos de café foram torrados em um torrador laboratorial, com fornecimento de calor por resistências de aquecimento, e agitados por um agitador mecânico tipo pá reta. A temperatura foi obtida por 2 termopares de isolamento mineral tipo J e a pressão monitorada por manômetro analógico. Os seguintes níveis foram utilizados: temperatura (190°C e 230°C); tempo (10min e 5min); pressão (760mmHg e -100mmHg). Os experimentos foram realizados seguindo um planejamento fatorial 2<sup>3</sup>, com duas réplicas no ponto central. A cor foi determinada por um medidor de cor. A temperatura, o tempo e a interação entre esses fatores foram estatisticamente significativos para a cor; logo, os fatores tempo e temperatura não podem ser estudados separadamente. Também foi possível obter um modelo matemático para a determinação da cor dos grãos a partir das condições de processo no respectivo torrador. O modelo foi validado por comparação de dados, podendo ser utilizado para planejamento das condições de processo a serem usadas para obtenção do grau de torrefação e cor desejados.

**Palavras-Chave:** Torrefação, Condições de processos, Modelagem, Café, Pressão, Temperatura, Cor.

**ABSTRACT**

Roasting is one of the main stages of coffee processing. The kinetics of chemical reactions that occur during roasting, such as Maillard reaction, pyrolysis, and caramelization, are determined by specific conditions such as temperature and time, with little data on the effect of pressure variation. The Maillard Reaction consists of a set of chemical reactions between reducing sugars and amino acids that lead to the formation of aroma, flavor, and color compounds. Caramelization reactions between sugars also contribute to these parameters. The color, generated by different polymers, is a visible indication of the degree of roasting and can be measured instrumentally. Therefore, this work focused on understanding the effect of interactions between temperature, time, and roasting pressure on the coffee color. For this, coffee beans were roasted in a laboratory roaster with heat supply by heating plates and agitated by a straight-blade mechanical stirrer. Two type J mineral insulated thermocouples measured the temperature, and an analog manometer monitored the pressure. The following conditions were used: temperature (190 ° C and 230 ° C); time (10min and 5min); and pressure (760mmHg and -100mmHg). The experiments were carried out following a factorial design 2<sup>3</sup>, with two replicates at the central point. The color was determined by a color meter. The temperature, the time, and the interaction between these factors were statistically significant for color; therefore, time and temperature cannot be studied separately. It was also possible to obtain a mathematical model for determining the color of the grains based on the process conditions in the respective roaster. The model was validated by data comparison and can be used to plan the process conditions to be operated to obtain the desired roast degree and color.

**Keywords:** Roasting, Process conditions, Modeling, Coffee, Pressure, Temperature, Color.

## 1 INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo (FOLMER et al., 2017). De acordo com dados da Organização Internacional do Café (OIC), foram consumidos um total de 9,9 milhões de toneladas de café cru nos dez primeiros meses de 2019. O Brasil foi o segundo maior consumidor da bebida, com consumo de 1,3 milhão de toneladas, ficando atrás apenas dos EUA, que apresentou um consumo de 1,5 milhão de toneladas. Na última década, a bebida vem ganhando crescente importância devido ao seu grande potencial para a saúde, proporcionado por uma série de compostos químicos que atuam no organismo humano de forma integrada, como a cafeína, os ácidos clorogênicos e derivados (compostos fenólicos) e a trigonelina (FARAH, 2017). Tão importante quanto os benefícios à saúde, é a qualidade sensorial (MORRIS, 2017).

A conversão do café verde (grãos crus) em uma bebida consumível envolve três operações: torrefação, seguida de moagem e, finalmente, o preparo da bebida (CLARKE, 1987). A torrefação é uma das etapas principais do processamento do café, pois nela ocorre o desenvolvimento do sabor e aroma (SCHENKER, ROTHGEB, 2017), os grãos de café mudam de cor (BAGGENSTOSS, 2008; BELITZ; GROSCH; SCHIEBERLE, 2009) e ocorre a alteração de sua estrutura (BELITZ; GROSCH; SCHIEBERLE, 2009; CLARKE, 1987; FADAI, 2019), além do desenvolvimento do amargor, e aroma e diminuição da doçura (BAGGENSTOSS et al., 2008) e da acidez (ILLY; VIANI, 1995). A alteração da cor é a indicação mais explícita do grau crescente de torrefação. Os grãos de café mudam da cor azul esverdeado-cinza (cor do grão verde) para amarelo, laranja, marrom, marrom escuro e, finalmente, quase preto (POISSON et al., 2017). A mudança na cor dos grãos deve-se principalmente à geração de melanoidinas, produtos da reação de Maillard de alta massa molar, (BELITZ; GROSCH; SCHIEBERLE, 2009; BEMILLER; HUBER, 2010; POISSON et al., 2017) e aos produtos da reação de caramelização. As cinéticas das reações químicas que ocorrem durante a torrefação, tais como reação de Maillard, caramelização e pirólise, são determinadas por condições específicas como temperatura e tempo, havendo poucos dados sobre o efeito da variação da pressão. O processo de torrefação se inicia com o aquecimento dos grãos, os quais são submetidos a temperaturas superiores a 190°C (ILLY; VIANI, 1995; SCHENKER, ROTHGEB, 2017; SCHWARTZBERG, 2013); as reações características da torrefação, como Maillard e caramelização, ocorrem entre 170°C a 220°C; já as reações pirolíticas predominam em temperatura superior a 230°C (FARAH, 2019; FERNANDES, 2019; SCHENKER, ROTHGEB, 2017; POISSON et al., 2017). De acordo com a cor externa dos grãos, é possível determinar o grau de torrefação (CLARKE, 1987). Além da cor, o grau de torrefação pode ser caracterizado pela perda de massa e umidade (BAGGENSTOSS et al., 2008; PERRONE et al.,

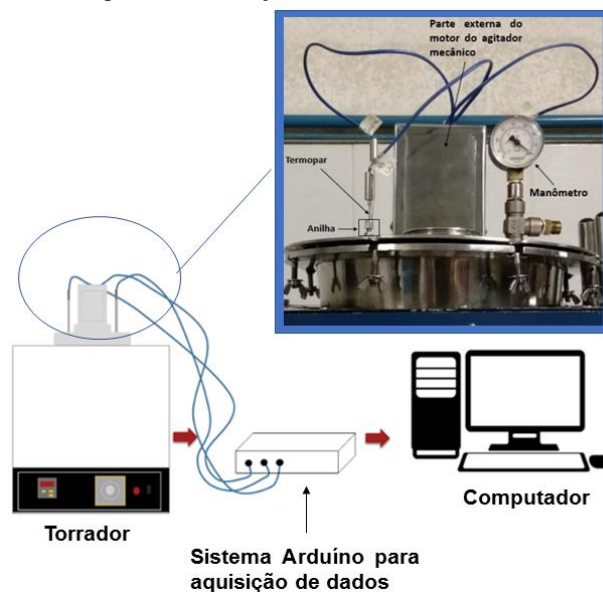
2010) ou até mesmo pela composição de aromas e índices químicos (RUOSI et al., 2012). Contudo, a cor, por ser uma indicação visível e óbvia, é ainda o melhor indicador do grau de torrefação (SCHENKER, ROTHGEB, 2017). A obtenção de uma medida de cor deve ser confiável; por isso os grãos são moídos e preparados de maneira padronizada (SCHENKER, ROTHGEB, 2017; AGNOLETTI, 2015). Esses cuidados e normatizações possibilitam a utilização da cor como parâmetro de controle a fim de garantir qualidade e reprodutibilidade ao produto final.

Cabe destacar que existem diversos estudos sobre o efeito da binômio temperatura- tempo sobre as características do café torrado, como Schenker, 2000; Dutra et al., 2001; Farah et al., 2006; Baggenstoss et al., 2008; Wang e Lim, 2014; Giacalone, et al., 2019. Contudo, pouco se sabe a respeito da influência da pressão sobre os parâmetros físicos e químicos do café. Com intenção de compreender o efeito do trinômio temperatura, tempo e pressão sobre a cor dos grãos de café torrado, este trabalho foi desenvolvido. Buscou-se também obter um modelo empírico capaz de prever, a partir das condições de processamento, a cor do café torrado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram torrados 250g de café arábica cv. Catuaí amarelo (Guaxupé, Minas Gerais), utilizando um torrador laboratorial (Figura 1) com fornecimento de calor por resistências elétricas e agitados por um agitador mecânico do tipo pá reta. A temperatura foi medida por 2 termopares de isolamento mineral tipo K e a pressão monitorada por manômetro analógico. Além disso, a metodologia de torrefação utilizada foi realizada de acordo com Pimentel, Calado e Farah (2020).

Figura 1 - Ilustração do torrador laboratorial.



Os experimentos seguiram um planejamento  $2^3$  com duas réplicas no ponto central e os seguintes níveis foram utilizados: temperatura (190°C e 230°C); tempo (10min e 5min); pressão (760mmHg e -100mmHg).

Foi realizada análise de variância (nível de significância de 5%) e um modelo matemático simples foi obtido para a cor instrumental, utilizando o programa *STATISTICA 13.1*.

Os grãos torrados foram triturados e peneirados (500mm) para a realização das análises de cor. A cor instrumental, medida pela luminosidade (L), foi determinada por um medidor de cor (Colorgap 1A, LEOGAP São Paulo, Brasil). Os graus de torrefação foram determinados por comparação com os discos de cor do "Roast Color Classification System" (Agtron-SCAA, Reno, NV, EUA, 1995) (# 95 Very Light, # 85 Light, # 75 Moderadamente Light, # 65 Light Medium, # 55 Medium, # 45 Moderately Dark, # 35 Dark, # 25 Very Dark).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 representa as condições de processos e o valor da cor instrumental correspondente. A Figura 2 apresenta as amostras de café torrado e moído.

Tabela 1 - Condições de torrefação do café arábica cv. Catuaí amarelo e dados de cor

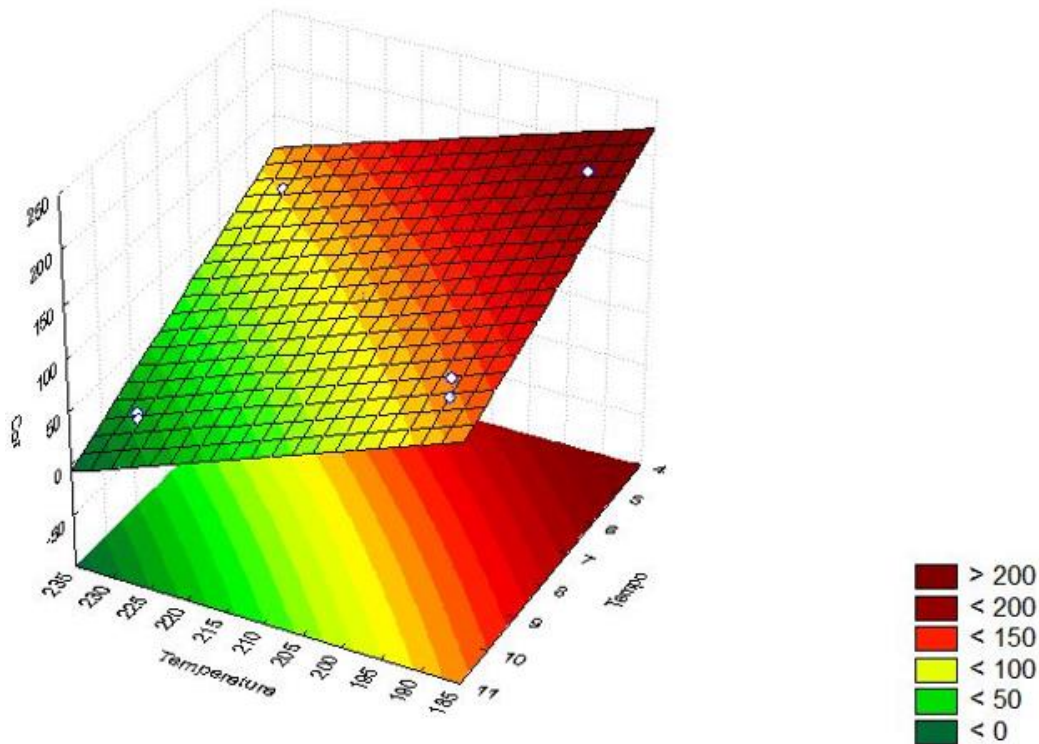
Amostra	Temperatura [°C]	Tempo [min]	Pressão [mmHg]	Cor Instrumental (L)
B1	230	10	-100	31
A4	190	5	760	200
A3	190	5	-100	200
A2	190	10	760	127
B2	230	10	760	24
B4	230	5	760	112
PC1	210	7,5	-50	86
B3	230	5	-100	112
PC 2	210	7,5	-50	87
A1	190	10	-100	145

Figura 2 - Amostras do estudo com suas variações de cor.



As mudanças de cor das amostras durante a torrefação dos grãos de café são mostradas pela diminuição do valor de L (cor instrumental) (JOKANOVIĆ et al., 2012). Foi verificado que a temperatura, o tempo e a interação entre esses fatores foram estatisticamente significativos para a cor instrumental ( $p < 0,05$ ); logo, as condições de processo de tempo e de temperatura não podem ser estudadas separadamente. Também foi notado que o valor de L diminui à medida que aumenta o tempo e a temperatura (Figura3). Esse resultado era esperado, estando de acordo com os obtidos por Bauer et al. (2018), Farah et al. (2005) e Schenker e Rothgeb (2017). A pressão negativa não exerceu efeito sobre a cor do café, o que indica que a atmosfera de torrefação a -100 mmHg não alterou a cinética das reações químicas do processo, uma vez que a diminuição de cor corresponde ao índice de desenvolvimento do escurecimento devido à formação de melanoidinas (ANESE et al., 2014).

Figura 3 - Gráfico de superfície de resposta para a cor, considerando a interação entre os parâmetros tempo e temperatura (pressão de 760mmHg)



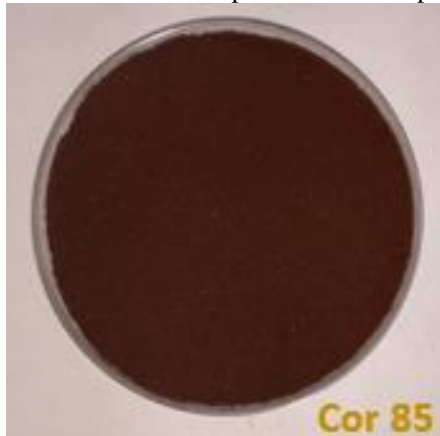
Cabe destacar que as medidas de L estão associadas à demanda dos consumidores (AGNOLETTI, 2015; MELO, 2004). No Brasil, o grau de torra predominante é escuro (*Dark*), cor instrumental 25 (FARAH, 2019, MELO, 2004), embora tenda a clarear. Usando condições experimentais distintas, Jokanović et al. (2012) obtiveram o valor de L entre 26,8 e 24,5 para amostras de café torradas em um forno com aquecimento direto, utilizando a temperatura de torrefação de 170 °C e o tempo de torrefação de 40 min. Giacalone et al. realizaram torras em torrador de tambor, obtendo seis perfis de torrefação: a torra mais clara (L =116.6) foi obtida a uma temperatura de 210°C por 8 min 40s e a escura, 45.7, a 220°C por 13 min 45 s. O valor de L obtido com o torrador laboratorial para a torra mais clara, (*very light*) A1, foi de 200, com temperatura de 190°C por 9 min, em diferentes condições de pressão. Já a mais escura, (*very dark*) B2, foi de 24, em temperatura de 230 °C por 10min a pressão de -100,0 mmHg. Logo, pode-se observar que os dados de cor (L) obtidos para as amostras mais escuras estão próximos aos da literatura; já para as amostras mais claras, os valores estão mais baixos. Todavia, as condições de tempo e de temperatura são bastante diversificadas, uma vez que nos vários estudos são utilizados diferentes tipos de torradores que demandam distintas condições de processamento.

Também foi possível obter um modelo matemático para a determinação da cor dos grãos a partir das condições de processo no respectivo torrador, com  $R^2$  ajustado de 0,999. Os erros foram normalmente distribuídos e os resíduos possuíram variância constante. O modelo obtido foi:

Cor instrumental =  $557 \pm 10,51 - (1,58 \pm 0,05) * \text{Temperatura} + (12,06 \pm 1,33) * \text{Tempo} - (0,12 \pm 0,006) * \text{Temperatura} * \text{Tempo}$ .

O modelo foi validado por comparação de dados; em uma amostra de cor instrumental 85, o modelo determinou um resultado previsto de 86 (Figura 4). Logo, pode-se afirmar que os valores de cor foram estatisticamente iguais ao serem considerados os arredondamentos do modelo. Portanto, o modelo obtido poderá ser utilizado para planejamento das condições de processo a serem usadas para obtenção do grau de torrefação e cor desejados nesse torrador.

Figura 4 - Valor da cor instrumental obtido experimentalmente para a validação do modelo.



#### 4 CONCLUSÕES

A modificação da pressão atmosférica não alterou o efeito que a temperatura e o tempo exerceram sobre a cor do café na pressão testada (760 a -100mmHg). Foi possível obter um modelo matemático capaz de prever a cor do café a partir da temperatura e do tempo de processamento. Logo, o modelo poderá ser utilizado para planejamento das condições de processo a serem definidas a fim de obter o grau de torrefação e cor desejados.

Cabe destacar que a metodologia apresentada poderá ser utilizada para diversos tipos de torradores existentes no mercado, devendo ser obtido um modelo específico para cada torrador e possivelmente para cada espécie de café. Logo, este trabalho poderá servir como base para desenvolvimento de metodologias de torrefação, possibilitando, assim, contribuir para a melhoria da qualidade e da reprodutibilidade dos cafés torrados. Para trabalhos futuros, sugere-se realizar teste com outros níveis de pressão.



**AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ: E-02/2017# 234092 e E-26/203.005/2017-233856) pelo apoio financeiro para desenvolvimento deste trabalho.

**REFERÊNCIAS**

- AGNOLETTI, Bárbara Zani. Avaliação das propriedades físico-químicas de café arábica (*Coffea arabica*) e conilon (*Coffea canephora*) classificados quanto à qualidade da bebida. 2015. Dissertação de Mestrado.
- ANESE, M., et al. (2014). Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans, *Food Chemistry*, 145, 168-172.
- BAUER, Deborah et al. Effect of roasting levels and drying process of *Coffea canephora* on the quality of bioactive compounds and cytotoxicity. *International journal of molecular sciences*, v. 19, n. 11, p. 3407, 2018.
- BELITZ, Hans-Dieter; GROSCH, Werner; SCHIEBERLE, Peter. Coffee, tea, cocoa. *Food chemistry*, p. 938-970, 2009.
- BEMILLER, James N.; HUBER, Kerry C. Carbohidratos. In: *Fennema química de los alimentos*. Acibia, 2010. p. 83-154.
- FARAH, Adriana. Flavor Development during Roasting. In: *Drying and Roasting of Cocoa and Coffee*. CRC Press, 2019. p. 267-309.
- FARAH, Adriana et al. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 5, p. 1505-1513, 2005.
- GIACALONE, Davide et al. Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception. *Food quality and preference*, v. 71, p. 463-474, 2019.
- JOKANOVIĆ, Marija R. et al. Changes of physical properties of coffee beans during roasting. *Acta Periodica Technologica*, n. 43, p. 21-31, 2012.
- MELO, WL de B. A Importância da Informação Sobre do Grau de Torra do Café e sua Influência nas Características Organolépticas da Bebida. *Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico*, 2004.
- PERRONE, Daniel et al. Modeling weight loss and chlorogenic acids content in coffee during roasting. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 58, n. 23, p. 12238-12243, 2010.
- POISSON, Luigi et al. The Chemistry of Roasting—Decoding Flavor Formation. In: *The craft and science of coffee*. Academic Press, 2017. p. 273-309.
- SCHENKER, Stefan; ROTHGEB, Trish. The roast—Creating the Beans' signature. In: *The craft and science of coffee*. Academic Press, 2017. p. 245-271.
- Specialty Coffee Association of America, U.S Specialty coffees, 2015. <http://scaa.org/?page=resources&d=facts-andfigures>.