

**Qualidade sensorial do café submetido a secagem a baixa temperatura e a frio com
emprego de um sistema baseado em tecnologia de bomba de calor**
**Sensorial quality of coffee submitted to dry at low temperature and cold with the use of
a system based on heat pump technology**
**Calidad sensorial del café sometido a secar a baja temperatura y frío con el uso de un
sistema basado en tecnología de bomba de calor**

Recebido: 17/11/2020 | Revisado: 18/11/2020 | Aceito: 22/11/2020 | Publicado: 28/11/2020

Rodrigo Aparecido Jordan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4461>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: rodrigojordan@ufgd.edu.br

Valdiney Cambuy Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3698-0330>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: vcambuy@yahoo.com

Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti-Mata

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6919-207X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: mcavalcantimata@gmail.com

Renata Henrique Hoscher

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5724-7173>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: renatahoscher@hotmail.com

Geraldo Acácio Mabasso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7725-8195>

Universidade Zambeze, Moçambique

E-mail: geral.do@hotmail.com

Wellytton Darci Quequeto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0658-2692>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: wellytton_quequeto@hotmail.com

Maurício Battilani

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4107-1633>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: mauriciobattilani@gmail.com

Ricardo Lordelo Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0998-9834>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: ricardolordelo@hotmail.com

Fabrício Correia de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7373-0667>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: fcoliveira@utfpr.edu.br

Elton Aparecido Siqueira Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3195-2317>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: eltonmartins@ufgd.edu.br

Resumo

Avaliou-se a qualidade sensorial do café cereja natural e descascado submetido a secagem a baixa temperatura (40, 35 e 35 °C) e a frio (15 °C), em condição de baixa temperatura de ponto de orvalho, empregando um protótipo de um sistema de secagem e controle higroscópico, baseado em tecnologia de bomba de calor. Para comparação utilizou-se a nota sensorial do café seco na propriedade fornecedora das amostras em terreiro suspenso e coberto (controle). Todas as amostras submetidas a secagem em laboratório apresentaram melhor qualidade sensorial em relação ao café seco na propriedade. A melhor nota sensorial, 85, foi obtida para o café natural submetido a secagem a 15 °C, com temperatura de ponto de orvalho de 3,6 °C e taxa média de secagem de 2,9 g kg⁻¹ h⁻¹.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. cv. Catiguá; Temperatura de ponto de orvalho; Taxa de secagem; Tempo de secagem; Qualidade; Bomba de calor.

Abstract

The sensory quality of the natural and peeled cherry coffee was subjected to drying at low temperature (40, 35 and 35 °C) and cold (15 °C), under low dew point temperature, using a prototype system drying and hygroscopic control, based on heat pump technology. For

comparison, the sensory note of dry coffee was used at the property supplying the samples in a suspended and covered terrace (control). All samples submitted to laboratory drying showed better sensory quality in relation to dry coffee on the property. The best sensory score, 85, was obtained for natural coffee submitted to drying at 15 °C, with a dew point temperature of 3.6 °C and an average drying rate of 2.9 g kg⁻¹ h⁻¹.

Keywords: *Coffea arabica* L. cv. Catiguá; Dew point temperature; Drying rate; Drying time; Quality; Heat pump.

Resumen

La calidad sensorial del café cereza natural y pelado se sometió a secado a baja temperatura (40, 35 y 35 °C) y frío (15 °C), a baja temperatura de punto de rocío, utilizando un sistema prototipo secado y control higroscópico, basado en tecnología de bomba de calor. A modo de comparación, se utilizó la nota sensorial del café seco en la propiedad suministrando las muestras en una terraza suspendida y cubierta (control). Todas las muestras sometidas a secado en laboratorio mostraron mejor calidad sensorial en relación al café seco en la propiedad. El mejor puntaje sensorial, 85, se obtuvo para el café natural sometido a secado a 15 °C, con una temperatura de punto de rocío de 3,6 °C y una tasa de secado promedio de 2,9 g kg⁻¹ h⁻¹.

Palabras clave: *Coffea arabica* L. cv. Catiguá; Temperatura punto de rocío; Velocidad de secado; Tiempo de secado; Calidad; Bomba de calor.

1. Introdução

O café é uma importante commodity, considerada uma bebida popular no mundo todo, sendo cultivado em mais de sessenta países (Carter et al., 2015). O Brasil é o maior exportador, responsável por 29% das exportações mundiais, onde apenas 15% são de cafés especiais. Porém, nos últimos anos tem havido uma mudança de comportamento do mercado consumidor, onde a procura por cafés especiais tem aumentado (Boaventura et al., 2018; Volsi et al., 2019). Alguns produtores já perceberam que os cafés especiais podem garantir margens de lucro mais elevadas, o que desencadeou uma busca pela melhoria de qualidade (Pimenta et al., 2018).

Diferente de outros produtos agrícolas, o preço do café é determinado pela sua qualidade sensorial (Zaidan et al., 2017; Borém et al., 2018). Desta forma, há uma oportunidade para aumentar o valor do produto em função do aumento ou manutenção da

qualidade da bebida, possibilitando novos investimentos em tecnologias nesta área (Donovan et al., 2019).

Dentre as etapas de produção, as atividades pós-colheita são responsáveis por até 60% da qualidade da bebida de café, pois afetam diretamente os constituintes presentes nos grãos (Clemente et al., 2015; Haile & Kang, 2019; Teshome et al., 2019). Sendo a secagem a etapa mais crítica desses processos para a preservação da qualidade (Duran et al., 2017; Olmos et al., 2017).

Corriqueiramente o café é colhido com teor de água de aproximadamente 60% (Resende et al., 2009). Diante disso, o produto é submetido ao processo de secagem com a finalidade de reduzir o teor de água até níveis seguros, que possibilitem estabilidade durante o armazenamento, contribuindo para a inibição das atividades enzimáticas e microbianas (Compri et al., 2016; Horuz et al., 2018).

O emprego de temperaturas de secagem acima de 45 °C provoca danos térmicos as membranas celulares dos grãos, fazendo com que os componentes químicos entrem em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas, afetando as características de cor, sabor e aroma da bebida (Marques et al., 2008; Taveira et al., 2015; Alves et al., 2017; Borém et al., 2018).

Sistemas de secagem que possam operar com temperaturas relativamente baixas, representam uma solução para manutenção da qualidade de produtos sensíveis a temperatura, com a possibilidade de serem mais eficientes no que diz respeito ao consumo de energia, uma vez que utilizam o potencial de secagem do ar ambiente (Taşeri et al., 2018). Contudo, há uma dificuldade em obter baixas temperaturas de secagem em secadores convencionais, pois estes são baseados em aquecimento sensível, estando associado com a umidade relativa. Desta forma, para se obter baixa umidade relativa, tem-se que aumentar a temperatura, o que torna prejudicial para a qualidade do produto (Closas & Villanueva, 2014).

Diante disso, a inclusão da bomba de calor em um sistema de secagem proporciona baixos valores de umidade relativa sem a necessidade de elevação da temperatura e do fluxo de ar de secagem (Aktaş et al., 2014). Temperaturas mais baixas proporcionam menores danos térmicos e físicos, além de manter os princípios ativos e essências que podem ser volatilizados com a elevação da temperatura (Hossain et al., 2013).

Os sistemas que utilizam bombas de calor podem garantir a viabilidade do processo de secagem e a manutenção da qualidade do produto (Dong et al., 2017; Dong et al., 2019). A secagem por bomba de calor tem sido relatada como um processo energeticamente eficiente (Ziegler et al., 2013). Ademais, o sistema de bomba de calor é automatizado, possibilitando

um maior e melhor controle dos parâmetros (Liu et al., 2017).

No Brasil, o uso comercial de sistemas de secagem de bomba de calor que empregam baixa umidade relativa em baixas temperaturas, ainda é restrito, por falta de domínio de tecnologia. Alves et al. (2013) relataram dificuldades em encontrar trabalhos com modelos que descrevessem a secagem do café a baixa temperatura e umidade relativa.

Assim, considerando a importância da secagem para a qualidade do café e a carência de informações, realizou-se o presente trabalho com objetivo de avaliar a qualidade do café, natural e descascado, submetido a secagem a baixa temperatura, empregando um protótipo de um sistema de secagem e controle higroscópico, baseado em tecnologia de bomba de calor.

2. Metodologia

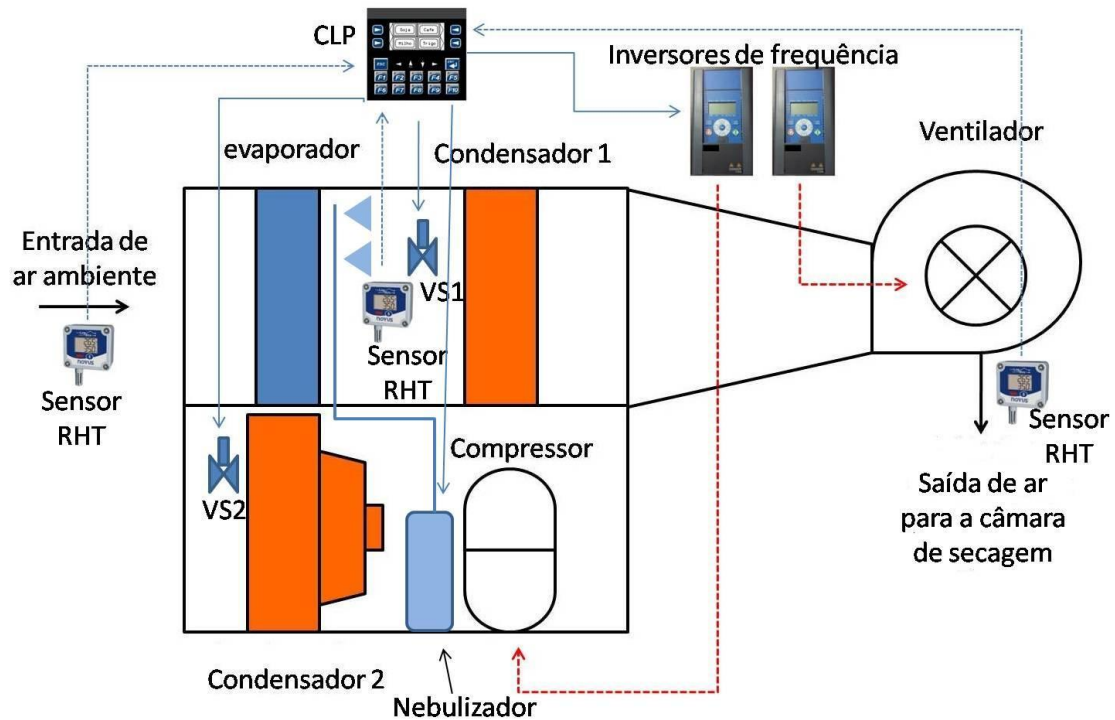
Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Termodinâmica, Refrigeração e Energia (LTRE) em colaboração com o Laboratório de Processos Pós-Colheita (LPPC) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

O café utilizado (*Coffea arabica* L. cv. Catiguá), natural e cereja descascado foi proveniente da propriedade Vale das Palmeiras, produtora de café gourmet, localizada no município de Ribeirão Claro/PR. O cereja descascado passou por meia seca em terreiro suspenso na propriedade. O teor de água inicial foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando-se uma estufa com circulação forçada de ar a 105 °C por 24 h em três repetições de, aproximadamente 10 g (adaptado de BRASIL, 2009).

O protótipo de sistema de secagem com bomba de calor utilizado, chamado de SIARCONPAG (Sistema Autônomo para Resfriamento e Controle Psicrométrico das Condições de Armazenagem de Grãos) desenvolvido pelo LTRE, consiste de um módulo inteligente de controle higroscópico para grãos armazenados com capacidade de resfriamento de 1 TR (3024 kcal h⁻¹). Esse equipamento foi projetado para levar o produto a condição de umidade de equilíbrio. O mesmo é capaz de resfriar, secar e até aumentar o teor de água no produto, dependendo da condição de entrada e dos valores programados de temperatura final e umidade de equilíbrio.

O SIARCONPAG opera com o evaporador e o condensador do sistema de refrigeração em série, montados no duto de condicionamento de ar. O sistema ainda conta com um condensador auxiliar (condensador 2) para controlar o reaquecimento do ar, de acordo com as condições selecionadas (Figura 1). O direcionamento do fluxo de fluido refrigerante entre cada condensador é feito por duas válvulas solenóides (VS1 e VS2), agindo no controle de aquecimento do ar e diminuição da umidade relativa.

Figura 1 - Esquema de operação do SIARCONPAG.



Fonte: Própria, (2020).

A operação do equipamento é automatizada por um controlador lógico programável (CLP), através de um algoritmo específico, onde estão inseridas as equações de umidade de equilíbrio para vários tipos de grãos. No caso do café, a equação utilizada é a de Sigma Copace (Corrêa et al., 2014). A operação começa com a seleção do produto, em seguida a temperatura e a umidade de equilíbrio desejada. O CLP faz o ajuste automático das condições de operação, atuando sobre a rotação do ventilador, rotação do compressor, abertura e fechamento das válvulas solenóides de controle de fluxo de fluido refrigerante pelos condensadores e acionamento do nebulizador. Isso, em função das informações fornecidas por sensores de temperatura e umidade relativa (RHT) instalados na entrada de ar, ao longo do duto e na saída do ar, para que as condições programadas sejam atendidas.

Para os testes de secagem, com pequenas quantidades de produto, o SIARCONPAG foi conectado a uma câmara isolada (Figura 2), dotada de 6 saídas de ar, permitindo o uso de até 6 bandejas de fundo perfurado ao mesmo tempo. O conjunto foi conectado a um sistema de aquisição de dados conectado a um computador, para monitoração dos valores de UR e temperatura da câmara (Figura 3).

Figura 2 - Câmara de secagem utilizada em conjunto com o SIARCONPAG.



Fonte: Própria, (2020).

Figura 3 - Conjunto SIARCONPAG, câmara de secagem e sistema de aquisição de dados montados LTRE.



Fonte: Própria, (2020).

As bandejas de fundo perfurado utilizadas possuíam diâmetro de 19 cm e altura de 18 cm. A secagem foi conduzida em camada fixa, utilizando, em média 1230 g de produto, para o café natural (NT) e 900 g de cereja descascado (CD), resultando em camadas médias, de 9 cm e 6 cm, respectivamente. Foram empregados os seguintes valores de temperatura na

secagem do café descascado e natural: 15, 30, 35 e 40 °C. Para todos os valores de temperatura, a umidade de equilíbrio foi ajustada em 11%. Para cada temperatura foram utilizadas três bandejas de cada tipo de café (descascado e natural), configurando três repetições para cada temperatura.

Iniciada a secagem, a massa das amostras foi monitorada periodicamente, em uma balança analítica com resolução de 0,01 g. O teor de água durante a secagem foi determinado por diferença de massa, até que fosse atingido o teor de água final de aproximadamente $11 \pm 1\%$, em base úmida.

A taxa de redução de água durante a secagem foi determinada segundo a equação 1 (Alves, 2013).

$$TxS_{med} = \frac{U_i - U_f}{t_s} \quad (1)$$

em que,

TxS_{med} = taxa média de secagem (g de água.kg de matéria seca⁻¹. h⁻¹);

U_i = teor de água no início da secagem (g de água.kg de matéria seca⁻¹ (bs));

U_f = teor de água no início da secagem (g de água.kg de matéria seca⁻¹ (bs));

t_s = tempo de secagem (h).

Terminada a secagem, as amostras foram embaladas em sacos plásticos de polietileno transparente e identificadas. Após isso, foram mantidas em câmara refrigerada a uma temperatura variando de 6 a 9 °C e umidade relativa de 60 a 65%, durante 30 dias. Após esse período, foram encaminhadas para análise sensorial. Na identificação das amostras foi utilizado um código para fazer referência a condição de secagem.

Para fins de comparação, duas amostras do melhor café gourmet produzido na propriedade (NT e CD), secas totalmente em terreiro suspenso e coberto, chamadas de controle, foram enviadas para análise sensorial, juntamente com as amostras secas em laboratório.

A análise sensorial seguiu o protocolo da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA) (Lingle, 2011), realizada no laboratório do Sindicato Rural de Ribeirão Claro/PR, por juízes certificados pelo Ministério da agricultura e pela SCAA.

Os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada por fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global, que são pontuados segundo sua qualidade em uma escala de 6 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 ponto, e outra objetiva, representada por uniformidade, doçura e xícara limpa (ausência de defeitos). Os atributos objetivos foram pontuados em uma escala de 0 a 10 pontos, sendo atribuídos 2 pontos para cada xícara que apresentar normalidade quanto à uniformidade, à doçura e à xícara limpa, avaliando-se 5 xícaras por amostra. A nota final foi obtida pela soma das notas de cada atributo.

Em cada avaliação sensorial foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições para cada tratamento.

A classificação da pesquisa foi realizada de acordo com as definições propostas por Pereira et al. (2018) e Prodanov & Freitas (2013). Os dados foram analisados e apresentados de forma descritiva.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os dados médios de temperatura de bulbo seco (Tbs), temperatura de ponto de orvalho (Tpo) e umidade relativa (UR) durante a secagem para cada tratamento. A temperatura de bulbo úmido variou entre 2,4 e 4,3 °C. Alves et al. (2013) e Borém et al. (2018), obtiveram condições semelhantes as obtidas para os tratamentos com 35 e 40 °C acoplado um condicionador de ar a um secador de camada fixa com aquecimento por resistência elétrica. Para conseguirem uma temperatura de ponto de orvalho de 2,6 °C, esses autores utilizaram três unidades de ar de condicionado, antes do secador, para pré condicionar o ar.

Tabela 1 - Condição média do ar de secagem em cada tratamento.

Tratamento	Tbs (°C)	Tpo (°C)	UR (%)
CD/NT 15 °C	14,6	3,6	48,3
CD/NT 30 °C	30,2	4,3	19,9
CD/NT 35 °C	34,7	2,4	12,9
CD/NT 40 °C	39,6	3,3	10,3

Fonte: Própria, (2020).

No caso do presente trabalho, o próprio evaporador da bomba de calor fez o pré-condicionamento do ar, reduzindo a temperatura de ponto de orvalho e a pressão de vapor, o que dispensou o uso de outros dispositivos (Closas & Villanueva, 2014).

Os valores médios de teor de água inicial e final (bs) de cada tratamento são apresentados na Tabela 2. Mesmo na secagem a frio, com temperatura abaixo do ar ambiente, caso da condição a 15 °C, o teor de água recomendado para conservação da qualidade do café (0,12 bs, aproximadamente 11% bu) foi atingido no final da secagem (Andrade, 2017). Isso devido a redução da umidade relativa propiciada pelo sistema utilizado, através do emprego da tecnologia de bomba de calor (Aktaş et al., 2014). A redução da umidade relativa é uma opção para evitar o uso de temperaturas elevadas na secagem (Borém et al., 2018). Assim, ao invés de aumentar a pressão de vapor do produto cedendo calor para este, diminui-se a pressão de vapor do ar (Hossain et al., 2013).

Tabela 2 - Valores médios de teor de água inicial e final de cada tratamento (bs).

Tratamento	Teor de água inicial (kg de água.kg ⁻¹ ms)	Teor de água final (bs)
CD 15 °C	0,65	0,12
CD 30 °C	0,80	0,12
CD 35 °C	0,75	0,12
CD 40 °C	0,78	0,12
NT 15 °C	0,42	0,12
NT 30 °C	0,61	0,12
NT 35 °C	0,60	0,12
NT 40 °C	0,55	0,12

Fonte: Própria, (2020).

Na Tabela 3 tem-se os tempos e as taxas de secagem para cada tratamento. Os valores de taxa de secagem observados variaram entre 2,47 e 37,30 g.kg⁻¹.h⁻¹. As condições com umidade relativa mais baixa, resultaram em menor tempo de secagem e, conseqüentemente, maior taxa média de secagem.

As taxas de secagem mais elevadas, foram para os tratamentos com CD de 35 e 40 °C, de 33 e 37,30 g.kg⁻¹.h⁻¹ respectivamente, com respectivos tempos de secagem de 19,09 e 18,50 h. Nessas duas condições a umidade relativa foi de 12,9 e 10,3% (Tabela 1). Alves et al.

(2013), obtiveram condições semelhantes de umidade relativa nas mesmas temperaturas (13 e 10%). Secando frutos de café natural nessas condições, esses autores obtiveram taxas médias de secagem variando entre 16,72 e 22,37 g.kg⁻¹.h⁻¹, com tempo de secagem variando entre 104 e 78 h, um pouco maior do que o obtido em condições semelhantes nesse trabalho, 116 e 54 h, para o NT a 30 e 35 °C, respectivamente.

Tabela 3 - Tempo e taxa média de secagem para cada tratamento.

Tratamento	Tempo de secagem (h)	Taxa média de secagem (g de água. kg de MS ⁻¹ . h ⁻¹)
CD 15 °C	105,04	4,97
CD 30 °C	44,00	15,22
CD 35 °C	19,09	33,00
CD 40 °C	18,50	37,30
NT 15 °C	121,49	2,47
NT 30 °C	116,00	4,40
NT 35 °C	54,00	9,07
NT 40 °C	40,20	10,95

Fonte: Própria, (2020).

O tempo de secagem das amostras de café natural (NT) foi, em média, 78% maior que o tempo de secagem das amostras de café descascado (CD). Segundo Siqueira et al. (2017) isso se deve as diferenças morfológicas entre o café descascado e o natural. Quanto menor o número de barreiras físicas, maior será a difusão de líquidos (Alves, 2013).

As notas obtidas na análise sensorial são apresentadas na Tabela 4. Verifica-se que todos os cafés secos em laboratório apresentaram perfil sensorial melhor em relação aos cafés que foram secos em terreiro suspenso na propriedade (controles). O emprego de temperaturas inferiores a 45 °C, além do melhor controle sobre as condições do ar no processo, conseguido através do SIARCONPAG, resultou em efeito benéfico para a qualidade sensorial do café (Alves et al., 2013; Taveira et al., 2015; Alaves et al., 2017; Borém et al., 2018).

Para as amostras secas em laboratório, as notas sensoriais das amostras de café natural foram ligeiramente maiores quando comparadas as notas obtidas para as amostras de café descascado. De acordo com Alves et al. (2017), os cafés naturais são fisiologicamente mais sensíveis as condições de secagem, devido a um maior tempo de exposição ao ar de secagem.

Por isso, o efeito benéfico da secagem a baixa temperatura e a frio foi um pouco melhor para o café natural.

Tabela 4 - Notas médias obtidas na análise sensorial.

Tratamento	Código	Nota média
CD controle	11W	83,00
CD 15 °C	ZG8	84,50
CD 30 °C	3I6	84,50
CD 35 °C	K5M	84,50
CD 40 °C	QRS	84,50
NT controle	2VE	82,00
NT 15 °C	OTX	85,00
NT 30 °C	ABC	84,75
NT 35 °C	W1F	84,75
NT 40 °C	BB2	84,75

Fonte: Própria, (2020).

A melhor nota sensorial foi obtida para o café natural seco a 15 °C, que foi a condição que apresentou menor taxa média de secagem e maior valor de umidade relativa. O aumento na taxa de secagem em baixas temperaturas afeta negativamente a qualidade do café. Já menores taxas de secagem e valores mais elevados de umidade relativa em baixas temperaturas, tem efeito positivo na pontuação do café (Borém et al., 2018).

No entanto, a redução de temperatura implica no aumento do tempo de secagem. O tempo de secagem a 15 °C para o café natural (NT), foi três vezes o tempo da secagem do mesmo café a 40 °C e, quase sete vezes o tempo de secagem do café descascado a 40 °C. Entre 40 e 30 °C em cada tratamento (NT e CD), o tempo de secagem mais que dobrou. Borém et al. (2018) observaram que a redução da temperatura de secagem do café natural de 40 para 35 °C, implicou no aumento do tempo de secagem, de 38 para 56 h, para um mesmo valor de temperatura de ponto de orvalho. Em Alves et al. (2017) a redução da temperatura de secagem de 45 para 40 °C, fez o tempo quase dobrar.

4. Considerações Finais

O sistema de secagem utilizado, com tecnologia de bomba de calor, foi capaz de produzir as condições necessárias para a secagem e baixa temperatura e a frio, sem a necessidade de emprego de equipamentos auxiliares.

A secagem em condições de temperaturas igual e abaixo de 40 °C foi benéfica para a qualidade sensorial do café.

O café natural se mostrou mais sensível as condições de secagem, com melhor resposta da qualidade sensorial na temperatura mais baixa.

Menor taxa de secagem a baixa temperatura, conduz a melhores resultados em termos de qualidade sensorial.

É interessante em futuros trabalhos, complementar a análise de qualidade com uma análise financeira, pois a secagem a baixa temperatura e a frio, demanda um tempo maior, o que implica em maior gasto energético e maior custo.

Agradecimentos

A Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), pelo apoio financeiro a pesquisa que originou o trabalho.

As empresas Procer, Elgin, Bplan, Carel, Novus e RAC Brasil pelo apoio ao trabalho.

A Vale das Palmeiras cafés especiais pela sessão das amostras de café para os testes.

Referências

Aktaş, M., Ceylan, İ., & Gürel, A. E. (2014). Testing of a condensation-type heat pump system for low-temperature drying applications. *International Journal of Food Engineering*, 10(3), 521-531.

Alves, G. E. (2013). Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

Alves, G. E., Isquierdo, E. P., Borém, F. M., Siqueira, V. C., Oliveira, P. D., Andrade, E. T. (2013). Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. *Coffee Science*, 8(2), 238-247.

Alves, G. E., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Siqueira, V. C., Cirillo, M. A., Pinto, A. C. F. (2017). Physiological and sensorial quality of Arabica coffee subjected to different temperatures and drying airflows. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2), 225-233.

Andrade, F. T. Qualidade do café natural especial acondicionado em embalagens impermeáveis e armazenado no Brasil e no exterior. 2017. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Alves, G. E., Ribeiro, D. E., Siqueira, V. C., Taveira, J. H. Da S. (2018). Quality of natural coffee dried under different temperatures and drying rates. *Coffee Science*, 13(2), 159-167.

Boaventura, P. S. M., Abdala, C. C., Araújo, C. L., Arakelian, J. S. (2018). Cocriação de valor na cadeia do café especial: O movimento da terceira onda do café. *Revista de Administração de Empresas (Journal of Business Management)*, 58(3), 254-266.

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. *Regras para análise de sementes*. Brasília, 2009. 399 p.

Carter, J. F., Yates, H. S. A., & Tinggi, U. (2015). Isotopic and elemental composition of roasted coffee as a guide to authenticity and origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(24), 5771–5779.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café, v. 5 - Safra 2019, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-61, maio 2019.

Compri, L., Florentino, L. A., Veiga, R. M., Silva, A. B. da; Miranda, J. M. (2016). Diversidade de microrganismos em frutos do cafeeiro cultivado na proximidade do Lago de Furnas. *Coffee Science*, 11(2), 285-289.

Corrêa, P. C., Botelho, F. M., Botelho, S. C. C., Goneli, A. L. D. (2014). Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(10), 1047–1052.

Clemente, J. M., Martinez, H. E. P., Alves, L. C., Dedo, F. L., Cecon, P. R. (2015). Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. *Acta Scientiarum.Agronomy*, 37(3), 297-305.

Closas, A. A., Villanueva, E. P. (2014). An experimental investigation of the fruit drying performance of a heat pump dryer. *International Conference on Agriculture, Biology and Environmental Sciences (ICABES'14)* Dec. 8-9, 2014 Bali (Indonesia).

Dong, W., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J., Tan, L. (2017). Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. *Food Chemistry*, 234(1), 121-130.

Dong, W., Hu, R., Long, Y., LI, H., Zhang, Y., Zhu, K., Chu, Z. (2019). Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, 272(30), 723-731.

Donovan, N. K., Foster, K. A., Salinas, C. A. P. (2019). Analysis of green coffee quality using hermetic bag storage. *Journal of Stored Products Research*, 80(1), 1-9.

Durán, C. A., Tsukui, A., Santos, F. K. F., Martinez, S. T., Bizzo, H. R., & Rezende, C. M. (2017). Café: aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida. *Revista Virtual de Química*, 9(1), 107-134.

Haile, M., Kang, W. H. The Harvest and Post-Harvest Management Practices' Impact on Coffee Quality. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89224>.

Horuz, E., Bozku, H., Karatas, H., Maskan, M. (2018). Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of appleslices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. *Heat and Mass Transfer*, 54(2), 425-436.

Hossain, M. A., Gottschalk, K., Hassan, M. S. (2013). Mathematical model for a heat pump dryer for aromatic plant. *Procedia Engineering*, 56(1), 10-520.

Lingle, T. R. The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 4th ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66p.

Liu, Y., Zhaoa, K., Jiu, M., Zhrg, Y. (2017). Design and drying technology research of heat pump lentinula edodes drying Room. *Procedia Engineering*, 205(1), 938-988.

Marques, E. R., Borém, F. M., Pereira, R. G. F. A., Biaggioni, M. A. M. (2008). Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1557-1562.

Olmos, L. C. V., Duque, E. A. G., Rodriguez, E. (2017). State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their global development. *Revista Espacios*. 38(29), 27-36.

Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1>

Prodanov, C. C., Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*, (2a ed.), Novo Hamburgo: Feevale. Recuperado de <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>

Pimenta, C. J., Angélico, C. L., Chalfoun, S. M. (2018). Challenges in coffee quality: Cultural, chemical and microbiological aspects. *Ciência e Agrotecnologia*, 42(4), 337-349.

Resende, O., Arcanjo, R. V., Siqueira, V. C., Rodrigues, S. (2009). Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(2), 189-196.

Siqueira, V. C., Borém, F. M., Alves, G. E., Isquierdo, E. P., A. C. F., Ribeiro, D. E., Ribeiro, F. C. (2017). Drying kinetics of processed natural coffee high moisture content. *Coffee Science*, 12(3), 400-409.

Taşeri, L., Aktaş, M., Şevik, S., Gülcü, M., Seçkin, G. U., Aktekeli, B. (2018). Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer. *Food Chemistry*, 260(15), 52-159.

Taveira, J. H. Da S., Borém, F. M., Rosa, S. D. V. F. da, Oliveira, P. D., Giomo, G. S., Isquierdo, E. P., Fortunato, V. A. (2015). Post-harvest effects on beverage quality and physiological performance of coffee beans. *African Journal of Agricultural Research*, 10(12), 1457-1466.

Teshome, K., Girma, Z., Eshetu, B. (2019). Assessment of pre and post-harvest management practices on coffee (*Coffea arabica* L.) quality determining factors in Gedeo zone, Southern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 14(28), 1216-1228.

Volsi, B., Telles, T. S., Caldarelli, C. E., Camara, M. R. G. (2019). The dynamics of coffee production in Brazil. *PLoS One*, 14(7), 1-15.

Zaidan, U. R., Corrêa, P. C., Ferreira, W. P. M., Cecon, P. R. (2017). Ambiente e variedades influenciam a qualidade de cafés das matas de Minas. *Coffee Science*, 12(2), 240-247.

Ziegler, T., Jubaer, H., Mellmann, J. (2013). Simulation of a heat pump dryer for medicinal plants. *Chemie Ingenieur Technik*, 85(3), 353-363.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Rodrigo Aparecido Jordan – 15,04%

Valdiney Cambuy Siqueira – 9,44%

Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti-Mata – 9,44%

Renata Henrique Hoscher – 9,44%

Geraldo Acácio Mabasso – 9,44%

Wellytton Darci Quequeto – 9,44%

Maurício Battilani – 9,44%

Ricardo Lordelo Freitas – 9,44%

Fabício Correia de Oliveira – 9,44%

Elton Aparecido Siqueira Martins – 9,44%