



PAULA DE ALMEIDA RIOS

**ORIGEM DE DEFEITO PRETO-VERDE NA SECAGEM
ARTIFICIAL DE CAFÉS IMATUROS PARA DIFERENTES
CONDIÇÕES DE TEMPERATURA DE BULBO SECO E
TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO**

**LAVRAS – MG
2019**

PAULA DE ALMEIDA RIOS

**ORIGEM DE DEFEITO PRETO-VERDE NA SECAGEM ARTIFICIAL DE CAFÉS
IMATUROS PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA DE BULBO
SECO E TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Strictu-Sensu em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade
Orientador
Prof. Dr. Flávio Meira Borém
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Rios, Paula de Almeida.

Origem de defeito preto-verde na secagem artificial de cafés imaturos para diferentes condições de temperatura de bulbo seco e temperatura de ponto de orvalho / Paula de Almeida Rios. - 2019.

52 p. : il.

Orientador(a): Ednilton Tavares de Andrade.

Coorientador(a): Flávio Meira Borém.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Modelagem matemática. 2. Taxa de redução de água. 3. Temperatura de ponto de orvalho. I. Andrade, Ednilton Tavares de. II. Borém, Flávio Meira. III. Título.

PAULA DE ALMEIDA RIOS

**ORIGEM DE DEFEITO PRETO-VERDE NA SECAGEM ARTIFICIAL DE CAFÉS
IMATUROS PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA DE BULBO
SECO E TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Strictu-Sensu em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade UFLA

Prof. Dr. Flávio Meira Borém UFLA

Dra. Cláudia Mendes dos Santos

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade

Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

Coorientador

LAVRAS – MG

2019

Às pessoas que mais amo, os quais me inspiram a ser uma mulher do bem e engajada nos grandes projetos da vida, aos meus pais, Artur (em memória) e Sílvia aos meus avós, Altina (em memória), Edith e Paulo às minhas sobrinhas, Alice e Vitória ao meu irmão, Artur

Dedico!

Agradecimentos

À Deus, pelo dom da vida, saúde e disposição.

Aos meus pais, Artur (em memória) e Sílvia, ao meu irmão, Artur, pelo incentivo, suporte e amor incondicional, serei sempre grata.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Engenharia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Ednilton, pela orientação, disponibilidade e incentivo de sempre.

Ao professor Flávio, pela coorientação e muitos ensinamentos.

Aos colegas, Danilo e Samuel, pela grande colaboração e trabalho em equipe.

Aos membros da banca de defesa, professor Ednilton, Flávio e Cláudia e aos membros da banca de qualificação, professor Ednilton, Roney, Jefferson e Cláudia, por toda colaboração e disponibilidade no aprimoramento do trabalho.

À todos os professor da Engenharia Agrícola ao logo da graduação e mestrado, pela formação profissional e conhecimentos adquiridos.

À Fazenda Faria, pela doação dos cafés utilizados no experimento.

Às laboratoristas, Ana Paula e Cláudia e à secretária Helem, por toda prontidão e dedicação.

À todos os familiares, especialmente aos meus avós, pelo carinho, presença e apoio constante.

À todos os amigos, que fazem com que a jornada seja leve.

Aos integrantes, ex-integrantes e amigos do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas e Núcleo de Estudos em Pós-colheita do Café (Pós-Café), por compartilharem das experiência e conhecimentos adquiridos, além de tamanha contribuição nos diversos trabalhos realizados em equipe e grande amizade.

Obrigada!

RESUMO

A desuniformidade de maturação do café faz com que haja grande parcela de frutos verdes no período de colheita. A pós-colheita busca soluções de manejo de modo a minimizar os defeitos durante o processo de secagem, neste caso, os defeitos preto-verde, provenientes daqueles frutos colhidos imaturos. Assim, este trabalho teve por objetivo a investigação da quantificação mínima de ocorrência do defeitos preto-verde na secagem de frutos de cafés imaturos, em camadas delgadas, submetido a diferentes condições de temperaturas e umidades relativas do ar de secagem. Além de ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo, a taxa de redução de água (TRA) e a colorimetria dos grãos após a secagem. Foram realizadas 9 colheitas de cafés (*Coffea arabica* L.) da variedade Topázio Amarelo, de modo manual e seletivo, no estágio de maturação verde, com teor de água inicial de $2,106 \pm 0,05$ kg.kg⁻¹ (bs). Após o processamento via seca, o café de cada uma destas colheitas foi submetido a um tratamento de secagem resultante da combinação de temperaturas do bulbo seco (35, 40 e 45 °C) e temperaturas de ponto de orvalho (2,6; 10,8; 16,2 °C), até o teor de água final de $0,124 \pm 0,05$ kg.kg⁻¹ (bs), em secador de camada fixa conjugado à um Sistema de Condicionamento de Ar de Laboratório (SCAL). Além da cinética de secagem, avaliou-se a TRA e a difusividade efetiva. Após a secagem, as amostras foram separadas em duas porções, uma só com defeitos preto-verde e ardido, a outra com os demais grão. Em cada uma fez-se a leitura de cor e naquela com a presença dos defeitos, fez-se também a contagem dos defeitos preto-verde. A menor porcentagem de formação de defeitos preto-verde se deu na temperatura de 35 °C, combinada à temperatura de ponto de orvalho de 2,6 °C (11,00%). Sendo esse o tratamento mais adequado à secagem de cafés naturais verdes. Por outro lado, a maior porcentagem deste defeito aconteceu na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 16,2 °C (14,17%). A combinação de Tbs 35 °C com Tpo 16,2 °C apresentou o menor coeficiente de difusão efetivo, de $0,551 \times 10^{-11}$ m² s⁻¹. O modelo de Midilli apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais para todas as combinações de secagem. A menor TRA foi de 0,063 kg.kg⁻¹.h⁻¹ e aconteceu na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 16,2 °C. Na porção de cafés sem defeitos, dentre os tratamentos realizados na Tbs de 35 °C, a combinação com a Tpo de 2,6 °C apresentou os menores valores de “L”. Para a coordenada “a”, os menores valores encontram-se na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 2,6 °C.

Palavras-chave: Modelagem matemática. Taxa de redução de água. Temperatura de ponto de orvalho.

ABSTRACT

The unevenness of maturation of coffee makes a great part of green fruits in the harvest period. The postharvest seeks management solutions so as to minimize defects during the drying process, in this case, black-green defects, from those fruits harvested immature. The objective of this work was to investigate the minimal quantification of the occurrence of black-green defects in the drying of thin-layer immature coffees, subjected to different temperature conditions and relative humidity of the drying air. In addition to adjusting mathematical models to the experimental data, as well as determining the effective diffusion coefficient, the water reduction rate (WRR) and the colorimetry of the grains after drying. A total of 9 coffee crops (*Coffea arabica* L.) of the Topázio Amarelo variety were harvested manually and selectively at the green maturation stage, with an initial water content of $2,106 \pm 0,05 \text{ kg.kg}^{-1}$ (bs). After the dry processing, coffee from each of these harvests was subjected to a drying treatment resulting from the combination of dry bulb temperatures (35, 40, 45 °C) and dew point temperatures (2.6, 10.8, 16.2 °C), up to the final water content of $0.124 \pm 0.05 \text{ kg.kg}^{-1}$ (bs), in a fixed layer dryer conjugated to a Laboratory Air Conditioning System (SCAL). In addition to drying kinetics, WRR and effective diffusivity were evaluated. After drying, the samples were separated into two parts, one with black-green and sour defects, the other with the other grain. The lowest percentage of black-green defects occurred at a temperature of 35 °C, combined with a dew point temperature of 2.6 °C (11.00%). This is the most suitable treatment for the drying of natural green coffees. On the other hand, the highest percentage of this defect occurred in the combination of Tbs of 35 °C with Tpo of 16.2 °C (14.17%). The combination of Tbs 35 °C and Tpo 16.2 °C had the lowest effective diffusion coefficient of $0.551 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. The Midilli model presented the best adjustments to the experimental data for all drying combinations. The lowest WRR was $0.063 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ and occurred in the combination of Tbs of 35 °C with Tpo of 16.2 °C. In the portion of coffee without defects, among the treatments carried out in the Tbs of 35 °C, the combination with the Tpo of 2,6 °C showed the lowest values of "L". For the "a" coordinate, the lowest values are found in the combination of Tbs of 35 °C with Tpo of 2.6 °C.

Keywords: Mathematical modeling. Dew point temperature. Water reduction rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de Condicionamento de Ar de Laboratório (SCAL)	24
Figura 2 Valores de razão de umidade experimentais e simulados pelo modelo de Midilli, para a secagem do café verde.	34
Figura 3 Cinética de secagem do café verde com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo de Midilli. A) Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. B) Tbs de 40 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. C) Tbs de 45 °C e Tpo de 2,6; 10,8C°	36
Figura 4 Taxa de redução de água (TRA) durante a secagem do café verde nas diferentes condições temperatura do ar de secagem. A) Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. B) Tbs de 40 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. C) Tbs de 45 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Condições do ar de secagem dos 9 tratamentos de secagem resultantes das combinações de temperaturas de ponto de orvalho, temperaturas de bulbo seco e respectivas umidades relativas.	25
Tabela 2 Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem experimental.....	27
Tabela 3 Porcentagem de defeitos preto-verde nos tratamentos de secagem do café verde. ...	30
Tabela 4 Valores de tempo de secagem, teor de água inicial e final e coeficiente de difusão efetivo para cada combinação de Tbs e Tpo do ar de secagem.....	31
Tabela 5 Parâmetros estatísticos resultantes do ajuste matemático de cada modelo para descrever a cinética de secagem dos frutos de café verde.....	33
Tabela 6 Coeficientes do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais de secagem dos frutos de café para as combinações de Tbs e Tpo do ar de secagem.....	37
Tabela 7 Parâmetros colorimétricos de Luminosidade, coordenadas “a” e “b”, Chroma e Hue da porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluída a porção de defeitos preto-verde e ardido.....	40
Tabela 8 Parâmetros colorimétricos de Luminosidade, coordenadas “a” e “b”, Chroma e Hue da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.....	41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Regiões produtoras de café	14
2.2	Colheita e processamento do café.....	14
2.3	Secagem do café	15
2.4	Secagem de frutos verdes de café	16
2.5	Modelagem matemática	18
2.6	Defeitos dos grãos de café	20
2.7	Colorimetria	21
3.	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Caracterização experimental.....	23
3.2	Colheita.....	23
3.3	Processamento.....	23
3.4	Secagem	24
3.5	Teor de água.....	25
3.6	Taxa de redução de água	26
3.7	Razão de umidade.....	26
3.8	Classificação física	29
3.9	Colorimetria	29
3.10	Delineamento experimental	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.	CONCLUSÕES.....	43
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
7.	ANEXOS	50

1. INTRODUÇÃO

Na produção de cafés de qualidade busca-se por frutos que estejam no auge da maturação, os chamados frutos cereja, no entanto, a irregularidade da floração da lavoura faz com que haja frutos em diferentes estádios de maturação: verde, cereja, passa e seco (DONZELES et al., 2001). Afim de obter o maior período de frutos maduros, recomenda-se iniciar a colheita do café em média, com no máximo 30% de verde (BORÉM, 2008). Em larga escala a quantidade de café verde colhido é significativa, requerendo manejo diferenciado, principalmente durante a secagem, de modo a minimizar a geração de defeitos preto-verde.

Quando os grãos verdes não são separados durante o processamento e secam de forma mal conduzida, em condições propícias à fermentação, têm sua película prateada modificada para a cor escura e brilhante, semelhante aos grãos ardidos e com aspecto enrugado, originando os defeitos preto-verde (REZENDE, 2013). Este defeito tem a mesma equivalência do ardido, ou seja, dois grãos preto-verde, correspondem à 1 defeito, na Tabela Brasileira de Classificação de Café por Tipo (BRASIL, 2003). Trazendo deságio à produção, além de contribuir negativamente para a qualidade da bebida.

Para minimizar o surgimento de defeitos em cafés imaturos, recomenda-se utilizar a temperatura máxima de 35 °C na massa do café, quando a secagem é realizada em secador mecânico. Já em terreiros, deve-se conduzir a secagem em camadas finas no início, com o aumento destas após a meia seca, além de efetuar revolvimento constante (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008). Contudo não é conhecido o efeito combinado da temperatura à taxa de redução de água na formação deste defeito.

Durante a secagem a taxa de redução de água pode alterar de acordo com a região cafeeira, pois além da temperatura, esta leva também em consideração a umidade relativa do ar. Assim, para realização de manejo adequado, considera-se as características climáticas regionais, as quais trazem peculiaridades à bebida e exigem cuidados diferenciados durante a pós-colheita.

Dentre as regiões de destaque na produção em Minas Gerais, encontram-se Cerrado Mineiro, Sul de Minas e Matas de Minas. Locais que se especializaram na produção de cafés de alta qualidade e alcançaram destaque internacional, o que é creditado ao clima favorável, somado às técnicas de cultivo e administração moderna (PIRES et al., 2003). No Cerrado Mineiro as estações climáticas são bem definidas, com verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco, apresentando um período de safra propício à pós-colheita. Por outro lado, a região das

Matas de Minas apresenta clima quente e bastante úmido na época de colheita e pós-colheita. Já o Sul de Minas possui características climáticas intermediárias.

Na literatura há apenas resultados que correlacionam a geração do defeito preto-verde à exposição a altas temperaturas de ar de secagem, contudo, não encontra-se estudos a respeito do efeito combinado da temperatura à taxa de redução de água na formação deste defeito. Assim, o experimento foi realizado com objetivo de verificar em quais condições de combinações de temperaturas de bulbo seco, com temperatura de ponto de orvalho do ar de secagem, há maior e menor porcentagem do surgimento deste defeito, analisando também o efeito da cor dos grãos após cada tratamento. Além de avaliar a cinética de secagem dos frutos verdes, com o ajuste de modelos matemáticos aos valores experimentais e suas taxas de redução de água.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Regiões produtoras de café

Ao longo da extensão do país, existem diferentes regiões produtoras de cafés especiais e em Minas Gerais estão aquelas com maior destaque. As quatro principais regiões cafeeiras do estado são: Cerrado, Sul de Minas, Matas de Minas e Chapada de Minas, visto que a maioria das fazendas certificadas, com maior participação em concursos de qualidade e com produtos diferenciados, encontram-se no Sul de Minas e Matas de Minas (ALVARENGA et al., 2015).

O clima favorável, somado à produção cuidadosa, infraestrutura sólida e investimentos em pesquisa são fatores relevantes ao destaque da produção de cafés especiais na região Sul de Minas. Além de apresentar temperatura amena, variando entre 18 e 20 °C e altitudes elevadas, que atingem até 1.400 m.

A Região das Matas de Minas, situada em uma contínua faixa territorial da Zona da Mata e Vale do Rio Doce, tem se destacado com participação relevante na produção cafeeira de Minas Gerais. Os cafés da espécie arábica são cultivados em clima ameno e úmido a maior parte do ano e em terrenos irregulares e montanhosos, com altitudes entre 600 e 1.200 metros (ZAIDAN, 2015).

O Cerrado Mineiro caracteriza-se com um clima de baixa umidade relativa do ar durante o período de colheita e pós-colheita, o que favorece essas operações. Apresenta temperatura média de 18 a 23 °C, altitudes produtoras de café que vão de 800 a 1300 metros acima do nível do mar e índice pluviométrico médio de 1600 milímetros médios anuais. Tais condições, acrescidas às características de relevo plano, potencializam o cultivo do café na região (ORTEGA; JESUS, 2009).

2.2 Colheita e processamento do café

O momento ideal da colheita se dá quando os frutos completam o estágio de maturação fisiológica, os chamados fruto cereja. Contudo, no Brasil, devido à irregularidade da floração das lavouras, o cafeeiro contém frutos em diferentes estádios de maturação (verde, cereja, passas e secos), apresentando teores de água variados. A maior presença de grãos verdes no início da safra, traz prejuízos ao tipo e à qualidade de bebida, sendo consequência a interferência no valor comercial do produto (DIAS et al., 2009; DONZELES et al., 2011).

A colheita do café pode ser realizada em diferentes sistemas. A decisão sobre qual método escolher dependerá de fatores como topografia da área, cultivar e nível tecnológico adotado. Assim, os principais métodos empregados são: colheita manual, semimecanizada e mecanizada (SILVA et al., 2004). A mecanização nas etapas de cultivo e colheita tem papel importante na viabilização da cadeia produtiva do café, pois influenciam diretamente na redução dos custos operacionais (SILVA et al., 2010).

O processamento do café após a colheita é uma etapa de grande relevância, pois proporcionará a homogeneização do lote. Nesse momento acontece a separação de frutos verdes e imaturos dos frutos cerejas (WINTGENS, 2004).

A definição da escolha do método de processamento e secagem após a colheita, varia de acordo com condições climáticas regionais, aspectos tecnológicos, econômicos e preferências do mercado a que se destina o produto final (ISQUIERDO et al., 2011). Na pós-colheita o processamento é tido como uma etapa de preparação dos frutos de café para a secagem, em que há a separação dos frutos, por estágio de maturação, em lotes mais homogêneos.

O café é processado por via seca ou úmida. No primeiro método, os frutos são secados na sua forma integral, em que há a obtenção do café natural ou coco. Já a partir do processamento via úmida, tem-se três tipos de café em pergaminho: café desmucilado, com retirada da casca e mucilagem de forma mecânica; despulpado, retirada mecânica da casca e da mucilagem por fermentação biológica; e descascado, com a retirada da casca e parte da mucilagem de forma mecânica (BORÉM, 2008; MALTA, 2011). O método via seca é mais utilizado no Brasil principalmente em regiões com inverno seco, época que acontece a colheita dos frutos. Segundo Illy e Viani (1995) é bem acordado que cafés processados nos diferentes métodos dão origem à características de qualidade distinta.

No processamento via seca não há geração de efluentes com elevado teor de matéria orgânica, como é o caso dos cafés via úmida. É importante que haja criteriosa seleção dos frutos, tanto na colheita como pós-colheita. Nesse processo, inicialmente faz-se a limpeza, com a retirada de impurezas vindas da lavoura e a separação dos frutos cereja e verde dos frutos secos, passas e mal granados no lavador hidráulico, por separação por densidade (BORÉM, 2008).

2.3 Secagem do café

Considerada como uma das técnicas de preservação mais antiga utilizada pelo homem, a secagem é uma etapa de grande relevância na pós-colheita. Empregada como forma de

manutenção da qualidade dos alimentos, em que, com a redução do teor de água, visa-se reduzir as atividades biológicas de microrganismos, minimizando-se reações de deterioração e alterações físicas e químicas durante o armazenamento (ARAÚJO et al., 2014). De acordo com Doymaz, Kipcak e Piskin (2015), a combinação da colheita antecipada dos grãos sadios à secagem, irá garantir um armazenamento seguro, reduzindo o risco de ataques por insetos, pássaros e microrganismos ainda na lavoura.

A secagem é o processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, em que há a eliminação do excesso de teor de água destes, por meio de evaporação, causada por convecção forçada do ar aquecido passando pelos grãos (AFONSO JUNIOR; CORRÊA, 1999; BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992).

O fenômeno que possibilita a troca de calor e massa entre sólido e fluido pode sofrer interferências de acordo com a constituição do material, do secador e suas condições operacionais, tais como: umidade relativa, temperatura e velocidade do ar de secagem. Além das propriedades do sólido: tamanho, forma, massa específica, teor de água e porosidade intergranular (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992; LOEWER; BRIDGES; BUCKLIN, 1994; MCMINN; MAGEE, 1999).

De acordo com Borém, Reinato e Andrade (2008), a secagem ocorre quando há diferença de pressão de vapor de água entre a superfície do produto e do ar que o envolve, ocorrendo a migração da água do interior deste para a periferia. Para isso, a pressão de vapor de água na superfície (P_g) do grão, deve ser superior à pressão de vapor do ar de secagem (P_{ar}).

Borém et al. (2018), trabalhando com secagem de café natural em terreiro combinada ao secador de camada fixa nas temperaturas de bulbo seco de 35 °C, 40 °C e 45 °C associadas às temperaturas de ponto de orvalho de 2,6 °C e 16,2 °C, concluíram que temperaturas acima de 40 °C não são recomendadas para a secagem de cafés especiais, além de os cafés secados na temperatura de 45 °C serem afetados por danos térmicos. Resultados que também estão em concordância com Marques et al. (2008) e Oliveira et al. (2013). Borém (2008), ainda recomenda que a secagem de cafés verdes não deve ultrapassar a temperatura de 35 °C.

2.4 Secagem de frutos verdes de café

De acordo com Bartholo e Guimarães (1997), frutos colhidos verdes, contém entre 60 e 70% de teor de água e conforme o tipo de secagem podem surgir três diferentes tipos de defeitos; primeira classe de defeitos se dá em função de uma secagem rápida que leva à cor preta ao grão, gerando o defeito preto-verde; já quando acontece a secagem lenta, ocorre o

defeito verde; e por último, o defeito ardido, devido ao elevado teor de água, que favorece a fermentação durante a secagem.

Comparando-se os grãos colhidos no estágio de maturação verde, com os colhidos no estágio cereja, conclui-se que os primeiros apresentam torração, aspecto e bebida inferiores. Assim, a presença de grãos verdes deprecia a qualidade, devido entre outros fatores, apresentar elevado teor de ácidos fenólicos, que elevam a adstringência da bebida (TEIXEIRA et al., 1970).

Teixeira et al. (1979), trabalharam com diferentes temperaturas de secagem e espessuras de camadas em cafés verdes. Analisaram que com temperatura de ar de secagem de 30 °C, houve o surgimento de menos de 2,5% de preto-verde; na temperatura de 40 °C, a porcentagem de defeitos preto-verde passou para 18%; com temperatura de 50 °C, a porcentagem alcançou os 44% e por fim, na temperatura mais elevada, de 60 °C, 100% dos grãos verdes, transformaram-se em preto-verde. Em relação à espessura de camadas, os cafés secos ao sol em camadas de 0,1 m, obtiveram melhores resultados, com menos presença de cafés verdes-escuros e preto-verdes comparado às espessuras de camadas de 0,03 m.

Guarçoni (1995), trabalhando com café Conilon, em tratamentos com temperatura do ar de secagem de 30, 45, 60 e 65 °C e porcentagens de café verde de 10, 30 e 50%, constataram maior surgimento do defeito preto-verde em cafés colhidos com maior porcentagem de frutos verdes e houve resistência da transformação de frutos colhidos verdes em grãos preto-verdes. Houve também a tendência do aumento do defeito preto-verde nos tratamentos com temperaturas mais elevadas do ar de secagem. A maior porcentagem de transformação aconteceu no tratamento com 10% de frutos verdes na temperatura de 65 °C (4,98% de defeitos preto-verde).

Em trabalho também realizado por Teixeira, Levy e Carvalho (1984 apud GONÇALVES, 2006), cafés colhidos em estágio de maturação verde, mostram pior resultados de aspecto de torra comparados aos cafés colhidos maduros, resultando em pior qualidade de bebida, além de apresentar pior tipo. No estudo, quando acrescentou-se 2% de café verde ao lote de cafés classificados como bebida mole, fez com que a bebida passasse para bebida apenas mole. O que representa queda na classificação oficial da bebida. Então, quando a adição foi de 10% de café verde à bebida mole, esta tornou-se bebida dura, com caracterização de adstringência à bebida.

Os resultados de trabalho de Teixeira et al. (1979) foram determinantes para as recomendações sobre manejo de secagem de cafés verdes. Onde foi sugerida a secagem de cafés verdes em espessura de camadas grossas, entre 0,25 e 0,30 m no início da secagem, com

revolvimento frequente ao longo do dia e a diminuição destas para camadas finas, quando a casca do café passar a apresentar aspecto marrom, conduzindo a secagem como é feita para os cafés naturais.

Contudo, frutos verdes apresentam alto teor de água, além da água livre superficial. Assim, a prática de se enleirar logo após o processamento, aumenta as chances do surgimento de fermentações indesejadas. Borém, Reinato e Andrade (2008), recomenda que inicialmente a secagem dos grãos imaturos seja conduzida em camadas finas, intercaladas com pequenas leiras de 0,03 m e revolvimento constante até a meia seca. Nessa primeira fase, não há riscos de elevação da temperatura na massa de grãos, desde que haja compensação nos processos de transferências de calor e massa. Então, a partir da meia seca, fazer camadas de 0,15 a 0,20 m de altura, para redução da taxa de secagem, evitando-se assim o surgimento do defeito preto-verde. Mantendo-se o revolvimento frequente.

Nobre et al. (2009), estudando tipos de processamentos, com repouso do café natural e em pergaminho, com diferentes tempos de repouso na presença e ausência de água antes da secagem, concluíram que os cafés verdes descascados, comparados aos verdes naturais apresentaram melhores resultados nas análises de qualidade, físico-químicas, sensoriais, prova de xícara e menor número de defeitos.

França e Jesus (2007), analisando a qualidade física e química em quatro estádios de maturação do café seco e beneficiado, encontraram os valores mais altos de condutividade elétrica e lixiviação de potássio nos estádios verde e verde cana, além de menores valores de açúcar redutor e açúcar total, confirmando que estes estádios de maturação não são os mais adequado à qualidade de bebida.

2.5 Modelagem matemática

A modelagem matemática é uma ferramenta que possibilita a predição do comportamento de diversos produtos agrícolas durante a secagem, em que considera-se os parâmetros: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar de secagem e características do produto a ser estudado. Assim, faz-se a simulação do comportamento do produto ao longo da perda de teor de água, nas sucessivas camadas delgadas (ARAUJO et al., 2017; BOTELHO et al., 2015). Quanto mais fatores inclusos no modelo matemático, melhor será a representação da situação real, porém, mais complexa será a solução deste. Segundo Bassanezi (2002), um modelo matemático é obtido, quando consegue-se traduzir a linguagem natural das hipóteses, em uma equação matemática lógica.

A espessura da camada dos grãos a serem secados é um dos fatores que determinará a complexidade do processo. Tem-se os modelos de camada espessa, que fazem referência à altura do secador e os de camada fina. Segundo Borges (2002), aqueles modelos que não consideram a variável espacial, são os modelos de camadas delgadas, já os que a consideram, são os modelos de leito profundo. Ainda de acordo com Kashaninejad et al. (2007), para simulação de secagem de camada espessa, é necessário uma equação que descreva a taxa de secagem de camada fina, pois a simulação dos modelos, consideram que uma camada espessa é constituída de diversas camadas finas.

Na literatura são descritos vários métodos: empíricos, semiempíricos e teóricos. Os modelos empíricos baseiam-se nas condições externas ao produtos, como temperatura, umidade relativa, razão de mistura e velocidade do ar de secagem e são resultados de dados experimentais de cinética de secagem, realizados em laboratório (PETRY; BORTOLI; SEFIDVASH, 2005). Nos métodos teóricos, além de considerar as condições do ar de secagem, incluem-se os mecanismos internos de transferência de calor e massa, assim como seus efeitos nos grãos (ANDRADE; BORÉM, 2008). Por último, os semiempíricos são intermediários entre os outros dois últimos, são modificações de modelos simplificados ou derivações da segunda Lei de Fick. Contudo, estão restritos para as condições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem e teor de água do produto em que foi realizado o experimento, característica igual aos dos modelos empíricos (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

Segundo Vilela e Artur (2008), as pesquisas com curvas delgadas de secagem fornecem relevantes dados no desenvolvimento de processos e elaboração de equipamentos utilizados para secagem de produtos agrícolas. Os dados obtidos com as curvas, possibilitam estimar o tempo ótimo para secagem e gastos energéticos, que afetarão diretamente no custo final do produto.

Diversos modelos matemáticos tem sido utilizados para a previsão comportamental de produtos agrícolas durante a secagem e para o desenvolvimento e fabricação de equipamentos e secadores (TORREZ IRIGOYEN; GINER, 2014). Tais como, amendoim (ARAUJO et al., 2017), soja (BOTELHO et al., 2018), grão de girassol (CARVALHO et al., 2018), frutos de crambe (COSTA et al., 2015), bagaço de uva fermentado (FERREIRA et al., 2012), folhas de aroeira (GONELI et al., 2014), feijão carioca (MELO et al., 2016), grãos de quinoa (MOSCON et al., 2017), moringa oleífera (NASCIMENTO; BIAGI; OLIVEIRA, 2015), milho (OLIVEIRA et al., 2012), café (SIQUEIRA et al., 2017).

2.6 Classificação do café

A busca pela qualidade do café agrega valor ao produto, estando assim, diretamente relacionado ao seu valor comercial. A Instrução normativa Nº 8 de 11 de junho de 2003 (BRASIL, 2003), oficializa um padrão brasileiro em que há a classificação em diferentes tipos de peneiras, defeitos e bebidas do grãos cru beneficiados. Segundo Saath et al. (2010), para realização da avaliação da qualidade de um café comercial, são feitas análises físicas, químicas, tamanho, forma, uniformidade de grãos e sensoriais.

Para a classificação faz-se a contagem de defeitos em uma amostra de 300 g de café beneficiado e utilizando a Tabela Brasileira de Classificação de Café por Tipo determina qual o tipo daquele café, de acordo com a quantidade de defeitos. Os defeitos surgem devido à diferentes causas e são chamados intrínsecos, quando são inerentes ao próprio grão, ou que tenha sofrido alterações. Alguns exemplos: grãos concha e miolo de concha, que são consequência de alguma alteração fisiológica ou genética dos frutos; grãos quebrados, surgem de danos mecânicos, má regulagem da colhedora ou beneficiadora; grãos brocados, são ocasionados pelo ataque de broca-do-café; grãos verdes acontecem devido à colheita dos frutos ainda imaturos. E existem também os defeitos extrínsecos, que são elementos estranhos ao café beneficiado: grãos coco e marinheiro, resultantes do beneficiamento, quando não há a remoção do exocarpo e pergaminho, respectivamente e ainda casca, paus e pedras (BANDEIRA et al., 2009). Na classificação o tipo é designado de 2 a 8, sendo que apresentam 4, 12, 26, 46, 86, 160 e 360 defeitos respectivamente, em cada amostra analisada de 300 gramas de café beneficiado (BRASIL, 2003).

Dentre os defeitos descritos, os mais graves quanto à qualidade de bebida são o preto, verde e ardido (PVA), os quais acontecem principalmente devido à descuido na colheita e pós-colheita. De acordo com Rezende (2013), quando os frutos ainda estão na planta e já atingiram a completa maturação, a mucilagem com alta umidade está sujeita à processos fermentativos, que dão origem aos defeitos ardido e preto. Quando no terreiro, devido à descuido na secagem, a mistura ou restos de cafés passas, secos e danificados, já vindos da lavoura com fermentação, acrescido ao mal arejamento, levam à fermentação dos frutos sadios. Inicialmente aparece o defeito ardido, que seguido do escurecimento total dos grãos, origina o preto, tornando os grãos completamente apodrecidos.

Quanto aos aspectos físicos e sensoriais, o defeito preto é considerado pelos classificadores como o defeito capital, por ser o mais grave (TEIXEIRA, 1971). Na Tabela Brasileira de Classificação de Café por Tipo, 1 grão preto equivale à 1 defeito. Os grãos pretos

apresentam endosperma completamente preto, na cor preta opaca. O defeito origina-se da deterioração de grãos que permanecem longo período ou na planta, ou em contato com o solo, levando à fermentações indesejadas e infecções microbianas (MEIRELES, 1990).

O defeito verde é identificado pela cor verde cana da película. Alterações que acontecem no grão e na película devido à colheita antecipada, somado à má condução da secagem, transforma os grãos verdes, em defeito preto-verde, que equivale ao defeito ardido (BRASIL, 2003).

2.7 Colorimetria

A colorimetria visa descrever a cor de um objeto de forma numérica. Durante o armazenamento, grãos de café podem sofrer mudanças na cor, devido à iluminação e temperatura do ambiente de armazenamento e umidade dos grãos. As alterações de cor podem acontecer de verde para esverdeada, esverdeada clara, clara com pigmentações de verde, amarelado, amarelo, esbranquiçado e completamente branco (LOPES et al., 1998).

Para análises precisas de cor, foram desenvolvidos sistemas quantitativos, baseados em coordenadas espaciais, a maioria deles elaborado pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). Colorímetros e Espectrofotômetros são equipamentos utilizados para medição numérica dos elementos de composição de uma cor em superfície (GONÇALEZ; JANIN; SANTORO, 2001). Estes equipamentos permitem a leitura das coordenadas colorimétricas (a, b e L) universais. A luminosidade, coordenada “L”, varia entre 0 e 100 fazendo referência à tonalidade branca e clareza. O valor de “a” demonstra o valor de vermelho (+a) ou verde (-a). Por último, os valores de “b”, indicam a cor amarela (+b) ou azul (-b). Os valores de “a” e “b” estão nos limites entre -80 e +80, sendo que, quando relacionados ao parâmetro “L”, possibilita localizar a cor exata em um plano tridimensional. Outros dois parâmetros relevantes, são Chroma (C) e ângulo Hue (H), os quais são obtidos matematicamente, a partir de “L”, “a” e “b”. O ângulo Hue é determinado em graus, pois é a angulação espacial entre os eixos “+a”, “+b”, “-a”, “-b”. Por último, “C” é o Chroma, ou saturação das cores, representando os tons de cinza, demonstra a intensidade da cor (LOUGHREY, 2002).

De acordo com Abreu et al. (2015), os métodos de processamento, beneficiamento e armazenamento do café afetam a intensidade das cores verde e azul e a luminância dos grãos de café. Sendo que a temperatura de armazenamento à 10 °C permite menores valores da coordenada “b” e de luminância.

Segundo Afonso Junior (2001), ao avaliar a cor de cafés beneficiados ao longo do armazenamento e secados nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, concluiu que as temperaturas mais altas, de 50 e 60 °C influenciaram negativamente na coloração, resultado demonstrado nas coordenadas “a”, “b” e “L” no sistema Hunter, de forma que os efeitos acentuaram-se ao longo do período de armazenamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização experimental

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (LPPA) do Departamento de Engenharia Agrícola pertencente a Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados fruto de café (*Coffea arabica* L. cv. Topázio Amarelo) da Fazenda Faria, localizada no município de Lavras-MG. As etapas de processamento, secagem e análises, foram conduzidas no LPPA. O experimento teve como foco a análise da secagem, onde foram realizados 9 tratamentos, resultantes da combinação de 3 temperaturas de bulbo seco (Tbs): 35, 40 e 45 °C com 3 temperaturas de ponto de orvalho (Tpo) do ar de secagem: 2,6; 10,8; 16,2 °C, as quais fazem referência às condições climáticas de três diferentes regiões cafeeiras em Minas Gerais: Cerrado Mineiro, Sul de Minas e Matas de Minas.

3.2 Colheita

Os cafés (*Coffea arabica* L.) da variedade Topázio Amarelo foram colhidos manual e seletivamente no estágio de maturação verde, na safra 2018, na Fazenda Faria localizada no município de Lavras, região Sul de Minas Gerais. Ao todo, foram realizadas 9 colheitas, uma para cada tratamento de secagem efetuado.

3.3 Processamento

Depois de colhidos, os cafés verdes foram levados ao LPPA, lavados em caixa d'água, para separação por massa específica dos frutos sadios daqueles chochos, mal granados, boias e passas. Após lavados, os cafés foram novamente selecionados para retirada do café verde-cana, e apenas os cafés verdes foram encaminhados à secagem. Fez-se a retirada do café verde-cana com objetivo de uniformizar a matéria-prima do trabalho, mantendo-se apenas os frutos com mesocarpo rígido, evitando-se frutos leitosos e mucilaginosos.

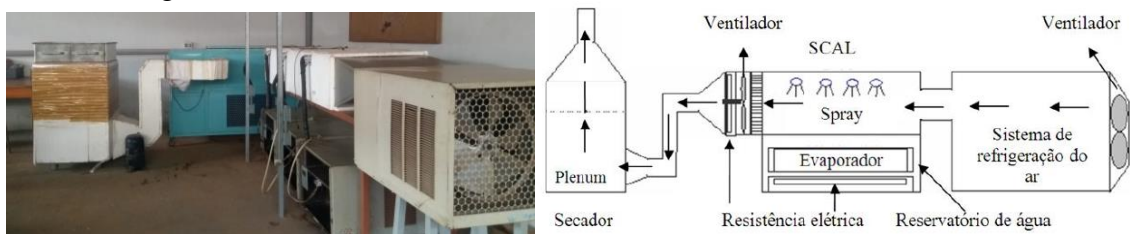
O processamento foi realizado por via seca, em que os frutos são secados em sua forma integral. De modo a utilizar aqueles frutos verdes separados no descascador durante o processamento por via úmida.

3.4 Secagem

Após lavagem e seleção, os cafés verdes foram encaminhados ao secador. O sistema de secagem se dá pela combinação de um sistema de condicionamento de ar de laboratório (SCAL) acoplado a um secador de camada fixa, tal como demonstrado na Figura 1. O SCAL é um modelo proposto por Fortes et al. (2006). Este sistema permite o controle preciso dos parâmetros de secagem, tais como de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de ponto de orvalho e fluxo do ar de secagem. Com o intuito de obter temperaturas de ponto de orvalho mais baixas, conectou-se ao SCAL, 3 sistemas de ar-condicionado, de modo que o ar externo é resfriado nestes, antes de passar pelo SCAL.

O secador de camada fixa é composto por quatro bandejas perfuradas e removíveis para a possibilidade de rotação das mesmas. Possui lados iguais a 0,3 m e profundidade de 0,1 m, as quais estão sobre um plenum que faz a distribuição homogênea do ar de secagem. O fluxo de ar foi ajustado por um anemômetro de pás em $24 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e a temperatura do ar de secagem e temperatura do ponto de orvalho na massa de grãos foram controlados por termômetro de mercúrio com bulbo úmido e seco.

Figura 1 Sistema de Condicionamento de Ar de Laboratório (SCAL)



No total, foram realizadas 9 secagens, em esquema fatorial 3×3 , com a combinação de 3 Tbs com 3 Tpo. Cada tratamento foi composto por 4 repetições, uma em cada bandeja do secador de camada fixa. Essas combinações de Tbs com Tpo resultaram em diferentes umidades relativas (UR) do ar de secagem (Tabela 1). Tais condições de secagem foram definidas a fim de representar o ambiente de secagem de 3 principais regiões cafeeiras de Minas Gerais: Cerrado Mineiro, Sul de Minas e Matas de Minas, em suas respectivas épocas de colheita.

Tabela 1 Condições do ar de secagem dos 9 tratamentos de secagem resultantes das combinações de temperaturas de ponto de orvalho, temperaturas de bulbo seco e respectivas umidades relativas.

Tpo (°C)	Tbs (°C)	Umidade relativa do ar de secagem (%)
2,6	35	13,10
2,6	40	10,00
2,6	45	7,70
10,8	35	23,00
10,8	40	17,50
10,8	45	13,50
16,2	35	32,70
16,2	40	25,00
16,2	45	19,20

Também foi realizada a secagem de um tratamento controle, em que o café foi secado ao sol em terreiro suspenso, seguindo as recomendações de manejo para secagem de cafés verdes em terreiro, de acordo com Borém, Reinato e Andrade (2008).

Para elaboração das curvas de cinética de secagem, fez-se o monitoramento da perda de água dos frutos de café verde pelo método gravimétrico. A pesagem das amostras foi mais frequente no início da secagem (de hora em hora, nas primeiras 6 horas) e com maiores espaçamentos ao longo do processo (de 2 em 2 horas). Os grãos de café verde foram colocados no secador com teor de água inicial de $2,106 \pm 0,05$ kg de água.kg de matéria seca⁻¹ (bs) até atingirem teor de água de $0,124 \pm 0,05$ kg de água.kg de matéria seca⁻¹ (bs), teor de água estável para armazenamento seguro do café.

3.5 Teor de água

Para determinação do teor de água inicial foi utilizado o método padrão de estufa, 105 ± 3 °C, durante 24 horas de acordo com a Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Para verificar o teor de água ao final de cada secagem, do café seco já beneficiado, foi utilizado o método padrão de estufa a 105 ± 1 °C, por $16 \pm 0,5$ horas, conforme método padrão internacional da ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, 2003).

Para acompanhamento da secagem até o teor de água desejado, foi utilizado o método gravimétrico, de perda de massa, até atingir o teor de água desejado. A perda de massa foi monitorada com o uso de uma balança analítica (Shimadzu, modelo UX420H), com resolução

de 0,01 g. Assim, conhecendo-se a massa e teor de água inicial dos frutos de café, foi possível saber o teor de água no tempo t a partir da equação 1:

$$U_t = \frac{M_{ai} - (M_{ti} - M_{tt})}{M_{ms}} \quad (1)$$

em que,

U_t : teor de água no tempo t (kg de água.kg de matéria seca⁻¹ (bs));

M_{ai} : massa de água inicial (kg);

M_{ti} : massa total inicial (kg);

M_{tt} : massa total no tempo t (kg);

M_{ms} : massa de matéria seca (kg).

3.6 Taxa de redução de água

A taxa de redução de água expressa a quantidade de água evaporada do produto por unidade de massa seca do produto por unidade de tempo, determinada por (CORRÊA et al., 2001):

$$TRA = \frac{(M_{ao} - M_{ai})}{(M_s (t_i - t_o))} \quad (2)$$

em que,

TRA: taxa de redução de água (kg. kg⁻¹. h⁻¹);

M_{ao} : massa de água total atual (kg);

M_{ai} : massa de água total atual (kg);

M_s : matéria seca (kg);

t_o : tempo total de secagem anterior (h);

t_i : tempo total de secagem atual (h).

3.7 Razão de umidade

A Razão de umidade do produto durante a secagem varia de 1 (teor de água inicial) a 0 (quando o produto atinge o teor de água de equilíbrio). A cada tempo da secagem experimental, conhece-se a razão de umidade, correlacionando o teor de água do produto no tempo ao teor de

água de equilíbrio e teor de água inicial, para condições específicas que ocorrem a secagem, tal como é demonstrado pela equação 3:

As curvas experimentais de razão de umidade geradas nos diferentes tratamentos foram ajustadas aos modelos matemáticos da Tabela 2.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (3)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto (adimensional);

U: teor de água do produto no tempo t (kg de água . kg de matéria seca⁻¹);

U_i: teor de água inicial do produto (kg de água . kg de matéria seca⁻¹);

U_e: teor de água de equilíbrio do produto (kg de água . kg de matéria seca⁻¹).

Para determinação do teor de água de equilíbrio higroscópico do café verde, utilizou-se a equação 4 (LEMOS, 2018):

$$U_e = \exp(-2,65798 - (0,005699 * T) + (1,504139 * UR)) \quad (4)$$

em que,

U_e: Teor de água de equilíbrio higroscópico do produto (decimal, (bs));

T: Temperatura do ar de secagem, (°C);

UR: Umidade relativa do ar de secagem, (decimal).

Tabela 2 Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem experimental.

Modelo	Designação do modelo	Equação
Dois termos	$RU = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(5)
Henderson & Pabis modificado	$RU = a \exp(-kt) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	(6)
Henderson & Pabis	$RU = a \exp(-kt)$	(7)
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$	(8)
Newton	$RU = \exp(-kt)$	(9)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	(10)
Thompson	$RU = \exp\{-a(-a^2 + 4bt)^{0,5}\}(2b)^{-1}\}$	(11)
Verma	$RU = -a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k_1 t)$	(12)
Wang & Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(13)
Valcam	$RU = a + bt + ct^{1,5} + dt^2$	(14)
Exponencial de dois termos	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	(15)
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(16)

em que:

RU: razão de umidade (adimensional);

t: tempo de secagem (h);

k, k_0 e k_1 : constantes de secagem;
 a, b, c, d, n : coeficientes dos modelos.

Foi realizada análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton, utilizando-se do programa *Statistica 5.0*[®] para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem. Com o objetivo de determinar o grau de ajuste para cada temperatura de secagem considerou-se a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t a 5% de significância, os valores do coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo (P), o erro médio estimado (SE) e o teste do qui-quadrado (χ^2). Tais coeficientes foram calculados com as equações (17, 18 e 19).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (17)$$

$$SE = \sqrt{\sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (18)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR} \quad (19)$$

em que,

Y: valor observado experimentalmente;

Y_0 : valor calculado pelo modelo;

n: número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo.

O coeficiente de difusão efetivo foi determinado por meio do ajuste do modelo matemático, baseado na difusão líquida, aos dados experimentais da cinética de secagem do café verde, por meio de regressão não linear, utilizando-se o *software* STATISTICA 5.0[®] (Statsoft, Tusla, USA). Essa equação é a solução analítica para segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica esférica, desconsiderando a contração volumétrica dos frutos e considerando a condição de contorno do teor de água na superfície do produto, descrita por Brooker et al. (1992), de acordo com a equação 20:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{6}{p^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left[-\frac{n^2 p^2 D_{eff}}{R^2} t\right] \quad (20)$$

em que,

D_{eff} : coeficiente de difusão efetivo ($m^2 \cdot s^{-1}$);

R: raio equivalente dos frutos de café (m);

n: número de termos;

t: tempo (s).

3.8 Classificação física

Foi utilizada a classificação estabelecida pela Instrução Normativa nº 8, de 11/06/2003, a qual decretou o “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado do Grão Cru” (BRASIL, 2003), para identificação dos defeitos do café.

Para verificação da porcentagem de defeito preto-verde, defeito em foco no experimento, foi contada a quantidade deles em porções de 100 grãos da amostra, já homogeneizados e quarteados, de modo que a quantidade final resultasse em porcentagem daquele defeito.

3.9 Colorimetria

A leitura da cor dos grãos de café verde secos e beneficiados foi realizada por colorímetro (Minolta modelo CR 300), em que fez-se 3 leituras de cada uma das 4 repetições dos 9 tratamentos. Nesse sistema tem-se a leitura direta das coordenadas “a”, “b” (coordenadas de cromaticidade) e luminosidade “L”, em que emprega-se o sistema Hunter de cor, descrito por Nobre (2005).

3.10 Delineamento experimental

O experimento foi montado em esquema fatorial 3x3, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições (4 bandejas do secador de camada fixa). Os resultados da análise de cor e defeitos preto-verde foram submetida à análise de variância e à testes de comparação de médias, através de teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 encontram-se os resultados em porcentagem de defeitos preto-verde originados em cada um dos tratamentos de secagem do café verde natural.

Tabela 3 Porcentagem de defeitos preto-verde nos tratamentos de secagem do café verde.

Tbs (°C)	Tpo (°C)		
	2,6	10,8	16,2
35	11,00 aA	11,94 aA	14,17 aB
40	13,93 bB	12,44 aA	13,61 aB
45	12,78 bA	11,56 aA	12,86 aA

Médias seguidas por letra minúsculas iguais dentro da coluna e letras maiúsculas dentro da linha não diferem entre si ($P > 0,05$), pelo teste Scott-Knott.

No tratamento controle, café secado ao sol, houve menos surgimento de defeitos preto-verde (8,25%), assim como previsto. Além do que nenhum dos tratamentos submetidos à secagem mecânica se igualou à este, apresentando médias distintas e superiores em quantidade do defeito.

Temperatura do ar de secagem de 35 °C é recomendada para secagem de cafés imaturos; a de 40 °C é a recomendação de temperatura máxima do ar para cafés maduros e a de 45 °C já extrapola as indicações para secagem de cafés de qualidade. A menor porcentagem de formação de defeitos preto-verde se deu na temperatura de 35 °C, combinada à temperatura de ponto de orvalho de 2,6 °C (11,00%). Na Tbs de 35 °C, à medida que aumentou-se a Tpo, houve maior surgimento de defeitos preto-verde. Resultado que está de acordo com as atuais recomendações para secagem de cafés imaturos em terreiro, em que a secagem deve ser iniciada em camadas finas, e após a meia seca, aumenta-se a espessura dessas (BORÉM, REINATO E ANDRADE, 2008). Durante o processo, a taxa de redução de água é maior no início da secagem e decai ao longo da mesma. Em contrapartida, a maior porcentagem de defeitos preto-verde aconteceu na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 16,2 °C (14,17%), o que também confirma as atuais recomendações de secagem para cafés imaturos em terreiro.

Na Tabela 4 são apresentados os tempos de secagem gastos em cada um dos tratamentos, além dos respectivos teores de água do café verde natural no início e final das secagens e os coeficientes de difusão efetivo (D_{eff}).

Tabela 4 Valores de tempo de secagem, teor de água inicial e final e coeficiente de difusão efetivo para cada combinação de Tbs e Tpo do ar de secagem.

Tbs (°C)	Tpo (°C)	UR (%)	Tempo de secagem (h)	Teor de água kg.kg ⁻¹ (bs)		D _{eff} x 10 ⁻¹¹ (m ² .s ⁻¹)	Taxa de redução de água (kg.kg ⁻¹ .h ⁻¹)	
				Inicial	Final		Inicial	Média
35	2,6	13,1	99,50	2,106±0,05	0,124±0,05	0,688	0,087	0,022
	10,8	23	100,00	2,106±0,05	0,124±0,05	0,654	0,070	0,019
	16,2	32,7	101,00	2,106±0,05	0,124±0,05	0,551	0,063	0,019
40	2,6	10	74,00	2,106±0,05	0,124±0,05	0,927	0,092	0,024
	10,8	17,5	75,00	2,106±0,05	0,124±0,05	0,855	0,087	0,022
	16,2	25	84,00	2,106±0,05	0,124±0,05	0,752	0,069	0,021
45	2,6	7,7	51,00	2,106±0,05	0,124±0,05	1,323	0,160	0,029
	10,8	13,5	53,00	2,106±0,05	0,124±0,05	1,120	0,141	0,028
	16,2	19,2	55,50	2,106±0,05	0,124±0,05	1,181	0,123	0,026

O teor de água dos frutos de café natural verde foi de 2,106±0,05 kg.kg⁻¹ (bs) no início do processo de secagem e foram secados até os teores de água de 0,124±0,05 kg.kg⁻¹ (bs). Observa-se que os tempos de secagem foram decaindo à medida que aumentou-se a temperatura do ar de cada tratamento. Além disso, em uma mesma temperatura, os tempos de secagem aumentaram quando combinados à valores de Tpo maiores, tal como era esperado para secagens mais lentas.

A fim de analisar a redução no tempo de secagem, ao observar os valores encontrados dentro da mesma Tpo, de 2,6 °C, comparando-se a Tbs de 35 °C (99,5 hs) e Tbs de 40 °C (74 hs), houve diminuição de 25,6% no tempo gasto de secagem. E comparando-se os valores de 35 °C com 45 °C, o decaimento no tempo de secagem foi de 48,74%, ou seja, quase 50% de redução, o que é relevante para a tomada de decisões na implantação de um sistema de secagem, desde que não haja decréscimos na qualidade do produto.

Ainda na Tabela 4, verifica-se que a medida que há aumento da Tbs, o coeficiente de difusão efetivo também se eleva. O aumento da temperatura do ar de secagem leva à diminuição da viscosidade da água, a qual encontra menor resistência ao fluir do interior para a superfície dos frutos (CORRÊA et al., 2010). Os valores de coeficiente de difusão efetiva dos diferentes tratamentos de secagem encontram-se entre 0,551 e 1,323 x 10⁻¹¹ m² s⁻¹. Os quais estão na faixa de valores encontrados por Alves et al. (2013), ao trabalharem também com secagem de café (1,908 e 3,721 x 10⁻¹¹ m² s⁻¹). E com aqueles encontrados na literatura, de acordo com Madamba et al. (1996), que estão entre 10⁻⁹ a 10⁻¹¹ m² s⁻¹. Tal coeficiente é frequentemente utilizado devido à complexidade que apresenta e também pelas informações do movimento da água dentro do grão durante o fenômeno de secagem serem ainda limitados (ARAUJO et al., 2017).

O coeficiente de difusão efetivo demonstra a fluidez da água do interior do grão rumo à superfície e saída do mesmo. O menor valor do coeficiente de difusão efetivo se deu na combinação de Tbs 35 °C com Tpo 16,2 °C em que houve o surgimento da maior porcentagem de defeitos preto-verde, sugerindo que valores de coeficiente de difusão efetivo iguais ou menores que tal valor, de $0,551 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, demonstram secagem inadequada para café natural imaturo.

Na Tabela 5 são mostrados os parâmetros estatísticos, com os valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE) e erro médio relativo (P), resultantes do ajuste dos modelos matemáticos por regressão não linear aos dados experimentais de cinética de secagem em camada fina dos 9 tratamentos analisados.

Tabela 5 Parâmetros estatísticos resultantes do ajuste matemático de cada modelo para descrever a cinética de secagem dos frutos de café verde.

Modelos	Parâmetros Estatísticos	35 °C			40 °C			45 °C		
		2,6 °C	10,8 °C	16,2 °C	2,6 °C	10,8 °C	16,2 °C	2,6 °C	10,8 °C	16,2 °C
Dois termos	R ²	99,990	99,980	99,865	99,983	99,941	99,973	99,978	99,938	99,979
	P	0,844	2,664	10,793	1,220	6,370	4,336	3,342	7,912	7,123
	SE	0,011	0,048	0,214	0,015	0,125	0,078	0,062	0,146	0,132
Henderson & Pabis modificado	R ²	99,990	99,988	99,865	99,983	99,941	99,973	99,978	99,938	99,983
	P	0,843	2,644	9,246	1,220	6,370	4,336	3,342	7,912	2,879
	SE	0,010	0,050	0,188	0,015	0,125	0,078	0,062	0,146	0,044
Henderson & Pabis	R ²	99,990	99,980	99,865	99,979	99,941	99,973	99,849	99,938	99,941
	P	1,319	2,548	9,246	2,396	6,370	4,336	6,121	7,912	8,898
	SE	0,021	0,045	0,188	0,035	0,125	0,078	0,098	0,146	0,169
Midilli	R ²	99,991	99,992	99,992	99,985	99,985	99,989	99,981	99,985	99,980
	P	0,842	1,362	1,153	1,677	2,382	1,739	3,538	3,385	4,531
	SE	0,011	0,019	0,023	0,023	0,048	0,035	0,065	0,072	0,080
Newton	R ²	99,987	99,942	99,865	99,968	99,917	99,955	99,578	99,917	99,867
	P	1,634	2,607	9,303	5,488	5,831	3,737	11,361	7,303	12,705
	SE	0,026	0,036	0,189	0,025	0,108	0,063	0,159	0,128	0,208
Page	R ²	99,989	99,976	99,897	99,973	99,922	99,959	99,975	99,928	99,979
	P	1,053	3,602	7,003	2,952	6,745	4,585	3,795	8,733	5,509
	SE	0,016	0,071	0,141	0,043	0,129	0,080	0,098	0,163	0,100
Thompson	R ²	99,989	99,959	99,948	99,968	99,918	99,955	99,907	99,917	99,960
	P	0,946	3,971	3,680	2,058	5,027	3,399	6,678	7,359	6,476
	SE	0,012	0,077	0,069	0,030	0,089	0,055	0,076	0,130	0,100
Verma	R ²	99,990	99,980	99,988	99,980	99,942	-	99,849	99,962	99,941
	P	1,319	2,548	1,526	2,286	6,214	-	6,121	2,387	8,898
	SE	0,021	0,045	0,029	0,033	0,122	-	0,123	0,030	0,169
Wang & Sing	R ²	97,737	97,568	98,999	97,999	98,140	98,034	96,144	97,782	93,594
	P	33,734	31,879	16,540	33,327	27,040	30,976	33,422	34,760	110,851
	SE	0,641	0,656	0,300	0,619	0,594	0,597	0,505	0,758	2,036
Valcam	R ²	99,975	99,987	99,994	99,947	99,997	99,990	99,968	99,989	99,965
	P	1,669	1,229	0,719	2,093	0,749	0,951	4,747	2,035	6,332
	SE	0,023	0,016	0,010	0,028	0,013	0,012	0,085	0,035	0,103
Exponencial de dois termos	R ²	-	99,988	99,859	-	-	-	99,924	99,944	99,946
	P	-	2,626	9,708	-	-	-	6,430	8,101	5,583
	SE	-	0,049	0,198	-	-	-	0,122	0,153	0,101
Aproximação da difusão	R ²	99,989	99,988	99,925	99,983	99,947	99,977	99,973	99,945	99,976
	P	1,224	2,651	5,693	2,603	6,537	4,496	3,355	8,167	6,208
	SE	0,020	0,050	0,114	0,039	0,130	0,082	0,061	0,155	0,117

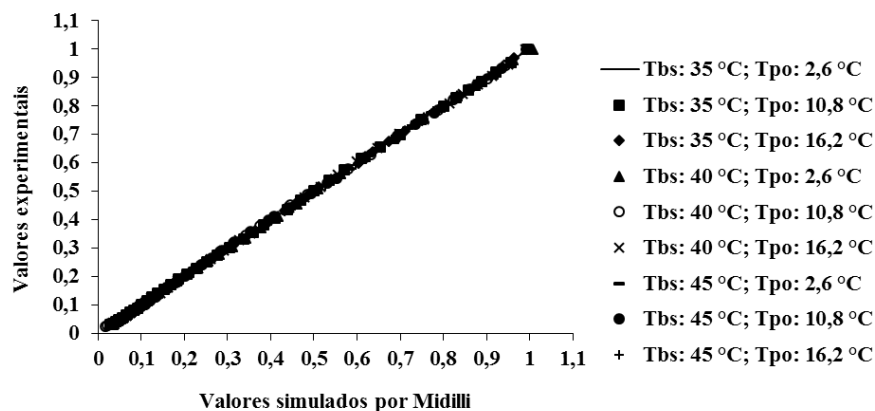
No momento da escolha dos modelos matemáticos mais adequados aos ajustes da cinética de secagem alguns critérios devem ser seguidos. Segundo Mohapatra e Rao (2005),

para que haja ajuste satisfatório do modelo aos dados experimentais é necessário que o coeficiente de determinação seja superior à 90%, fato observado nas maior parte das condições de secagem, onde a maioria dos modelos se adequaram à este critério, exceto apenas o modelo de Verma e Exponencial de Dois Termos. E ainda de acordo com Draper e Smith (1998), quanto menores os valores do desvio padrão da estimativa, mais satisfatória é a representatividade ao processo de secagem.

Segundo Kashani-nejad et al. (2007), valores de erro médio relativo representam o quanto há de desvio dos valores experimentais em relação à curva estimada pelo modelo, sendo que os valores de P maiores que 10% não representam satisfatoriamente os dados experimentais de secagem (MOHAPATRA; RAO, 2005). Os valores de P para as secagens realizadas também mostraram resultados apropriados na maior parte dos modelos, exceto para Dois Termos, Newton, Verma, Wang & Sing e Exponencial de dois Termos.

Dentre os modelos que obtiveram os maiores valores de R^2 e menores de P e SE (Midilli, Valcam e Henderson & Pabis modificado), foi selecionado o modelo de Midilli por ter simples aplicação e ser frequentemente recomendada a aplicação na predição de fenômenos de secagem de produtos agrícolas. De acordo com Kashaninejad et al. (2007), o modelo matemático Midilli é considerado um dos mais práticos e de simples aplicação devido à menor quantidade de coeficientes, sendo frequentemente aplicado em simulações de secagem. Na Figura 2 evidencia-se a adequação do modelo de Midilli aos dados experimentais, uma vez que para todas as condições de secagem, formam-se retas semelhantes a partir dos valores experimentais e simulados de razão de umidade. Os valores próximos à uma reta de 45° reforçam a adequação do modelo aos dados experimentais de secagem dos produtos agrícolas (GONELI et al., 2014).

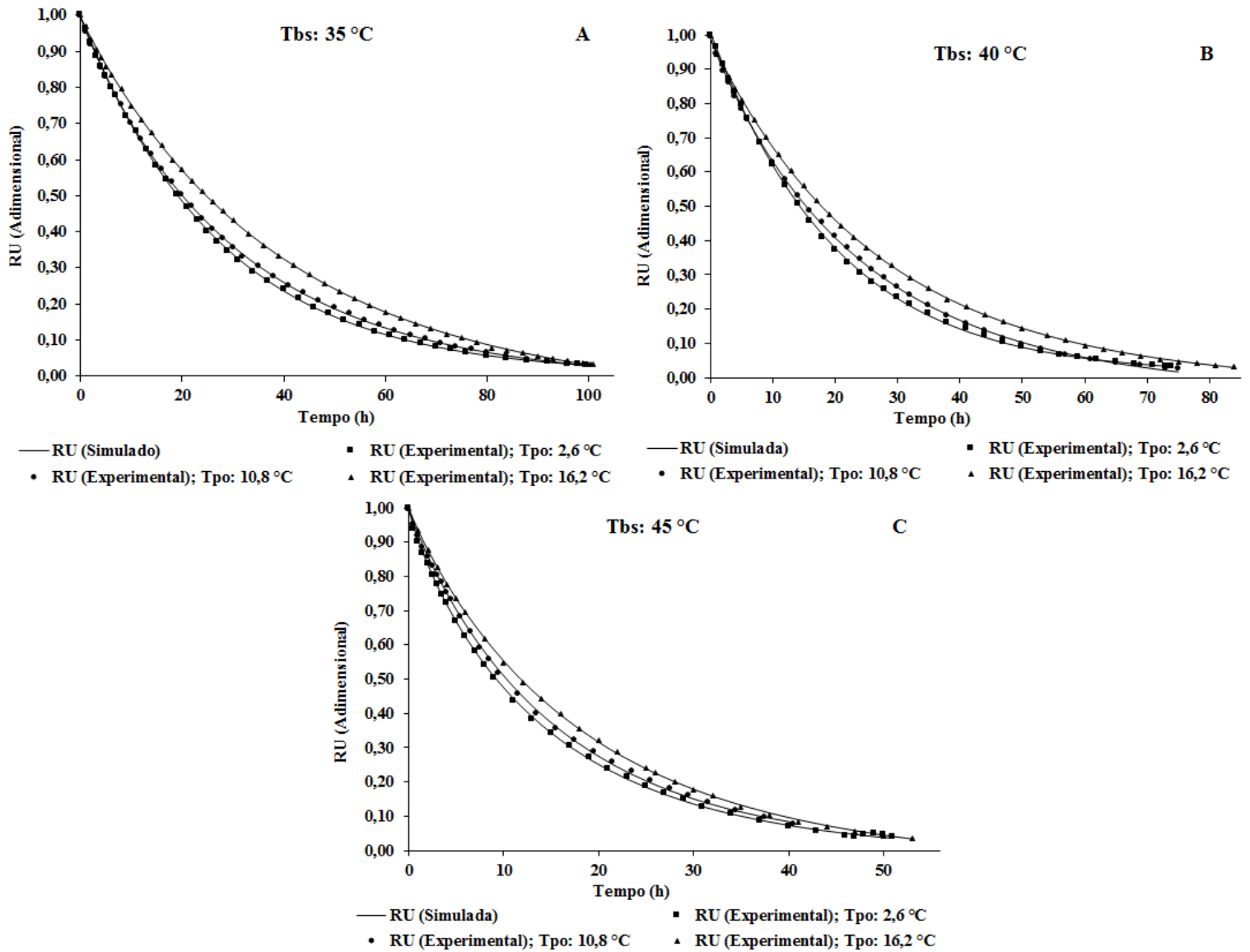
Figura 2 Valores de razão de umidade experimentais e simulados pelo modelo de Midilli, para a secagem do café verde.



Alves et al. (2013), trabalhando com secagem de café natural nas mesmas temperaturas de bulbo seco do presente trabalho e na Tpo de 2,6, concluíram que dentre os modelos testados, Henderson e Pabis modificado apresentaram maior aleatoriedade na distribuição de resíduos, indicando ser o modelo mais adequado para a representação daquele estudo. Em trabalhos com secagem de outros produtos agrícolas, o modelo de Midilli também apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, tais como na cinética de secagem de feijão-caupi (CAMICIA et al., 2015), folhas de aroeira (GONELI et al., 2014), amora (MARTINS et al., 2018), moringa oleífera (NASCIMENTO; BIAGI; OLIVEIRA, 2015), pinhão-manso (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2012) e morango (SOUSA et al., 2014). Tal como em outros produtos, onde o modelo de Valcam, com folhas de Bauhinia forficata Link (SILVA et al., 2017) e Henderson e Pabis Modificado com polpa de buriti (CARDOSO et al., 2017) e folhas de jenipapo (SILVA et al., 2015) foram os que mais se adequaram.

Nas figuras 3A a 3C, são apresentadas as curvas de secagem do café verde natural com os dados experimentais e estimados pelo modelo de Midilli da razão de umidade em função do tempo (horas). As figuras foram agrupadas pelas Tbs com as três diferentes Tpo. Confirmou-se ajuste satisfatório, observando-se a correspondência entre os valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli na descrição da cinética de secagem, tal como é demonstrado nas Figuras 3A a 3C.

Figura 3 Cinética de secagem do café verde com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo de Midilli. A) Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. B) Tbs de 40 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. C) Tbs de 45 °C e Tpo de 2,6; 10,8°C°



Os coeficientes do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais de cinética de secagem das diferentes condições de ar de secagem encontram-se na Tabela 6.

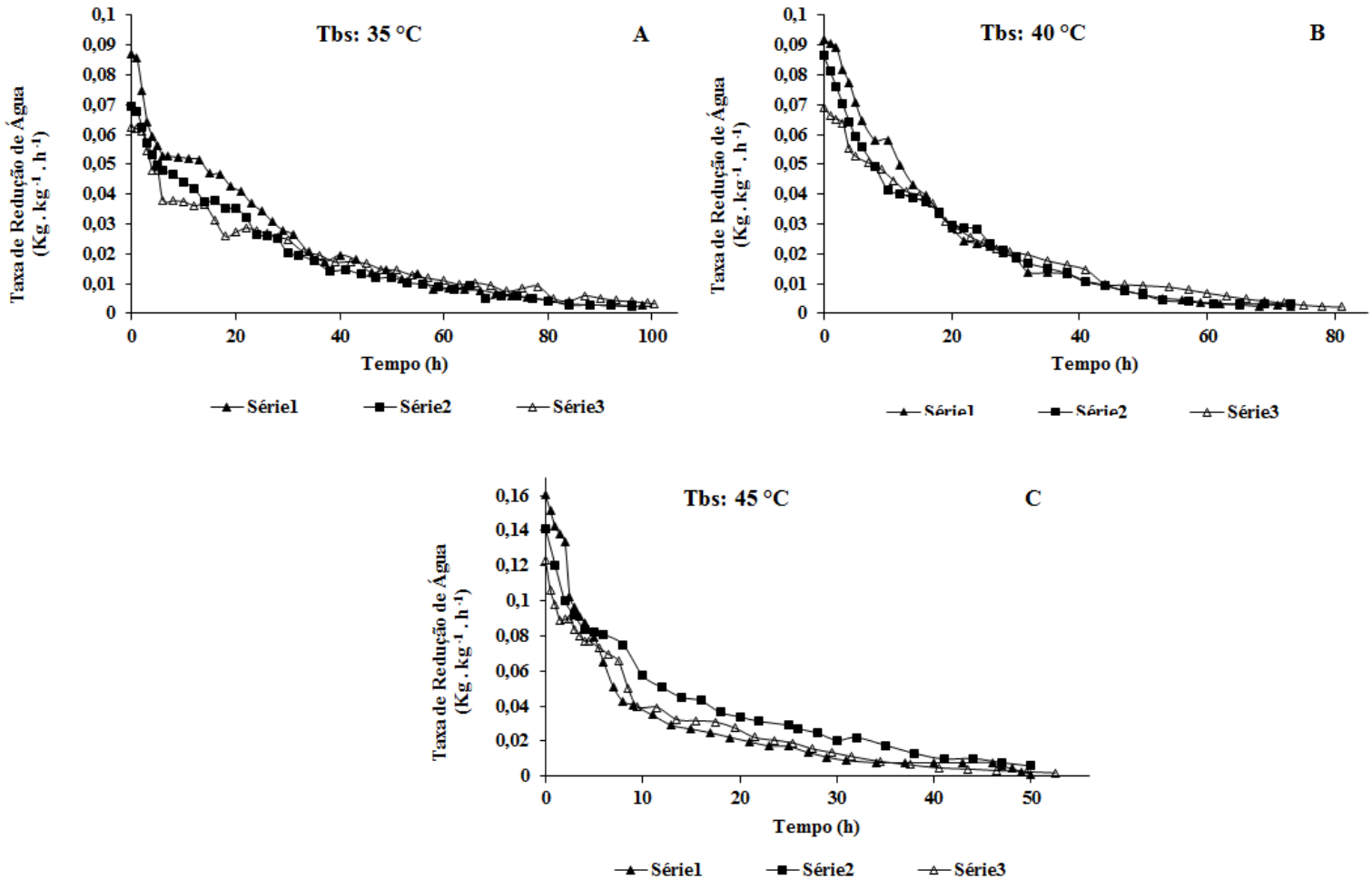
Tabela 6 Coeficientes do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais de secagem dos frutos de café para as combinações de Tbs e Tpo do ar de secagem.

Tbs (°C)	Tpo (°C)	Coeficientes do modelo de Midilli			
		a	k	b	n
35	2,6	0,9959	0,0358	0,0000	1,0029
	10,8	0,9942	0,0385	-0,0001	0,9593
	16,2	0,9928	0,0284	-0,0004	0,9840
40	2,6	1,0070	0,0471	0,0001	1,0147
	10,8	0,9920	0,0486	-0,0004	0,9630
	16,2	0,9895	0,0399	-0,0002	0,9828
45	2,6	0,9963	0,0953	-0,0001	0,8889
	10,8	0,9984	0,0662	-0,0005	0,9433
	16,2	0,9952	0,0759	0,0000	0,9460

O coeficiente “k” representa as características externas do processo de secagem. Nota-se que esses valores aumentam com o aumento da temperatura, o que pode indicar controle do processo de secagem pela difusividade efetiva no período decrescente de secagem, período em que a taxa interna de transporte de água é menor do que a taxa de evaporação do produto (RODOVALHO et al., 2015). Contudo o mesmo coeficiente não demonstra tendência quando observa-se seus valores em uma mesma temperatura com variação da Tpo. Os demais coeficientes, a, b e n, não demonstraram orientação clara de comportamento com aumento de Tbs e nem com a Tpo.

Na figura 4 são apresentados os comportamentos da taxa de redução de água (TRA) para os 9 diferentes tratamentos de secagem.

Figura 4 Taxa de redução de água (TRA) durante a secagem do café verde nas diferentes condições temperatura do ar de secagem. A) Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. B) Tbs de 40 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C. C) Tbs de 45 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C



Verifica-se que as maiores TRA acontecem no início da secagem e vão reduzindo ao longo do processo. Sendo que as TRA iniciais (Tabela 4) são de 0,087; 0,070 e 0,063 (kg de água kg de matéria seca⁻¹ hora⁻¹), para a Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C, respectivamente, de 0,092; 0,087 e 0,069 (kg de água kg de matéria seca⁻¹ hora⁻¹) para a Tbs de 40 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C, respectivamente, de 0,160; 0,141; 0,123 (kg de água kg de matéria seca⁻¹ hora⁻¹) para Tbs de 45 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C, respectivamente. A maior TRA (0,160 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) foi verificada na Tbs de 45 °C e Tpo de 2,6 °C, tal como era esperado, na secagem mais rápida. Já a menor TRA foi de 0,063 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ e aconteceu na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 16,2 °C, na qual houve maior surgimento de defeitos preto-verde, confirmando que a TRA lenta no início do processo de secagem para cafés imaturos é favorável

ao surgimento desse defeito. A TRA média também apresenta mesmo comportamento (Tabela 4).

Observando valores iguais de Tpo, quando aumenta-se a Tbs, a TRA também eleva-se, o que foi verificado também por Siqueira et al. (2017), trabalhando com secagem de café natural com alto teor de água. A TRA apresentou comportamento semelhante ao coeficiente de difusão efetivo, demonstrando tendência à redução dos valores, à medida que houve aumento da Tpo para uma mesma Tbs.

Ao longo do processo de secagem a TRA vai diminuindo até tornar-se estável, isso acontece pois após a saída da água livre e solvente dos frutos de café há maior resistência de migração da água do interior para a superfície, dificultando a evaporação da água (JANGAM et al., 2010). Comportamento semelhante foi verificado por outros autores na cinética de secagem de diferentes produtos agrícolas, tais como feijão adzuki (ALMEIDA et al., 2009), milho-pipoca (CORRÊA et al., 2001), pimenta bode (RODOVALHO et al., 2015) e café natural (SIQUEIRA et al., 2017).

Malta et al. (2013) trabalhando com secagem lenta (telado suspenso à sombra) e rápida (secador de camada fixa na temperatura de 35 °C) em diferentes processamentos de café, verificaram melhor qualidade sensorial e fisiológica daqueles submetidos à secagem lenta, onde os valores de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez total titulável foram menores e os valores de atividade enzimática da polifonoxidase foram maiores, o que indica menores danos aos sistemas de membranas celulares, naquela secagem em que houve menor taxa de redução de água.

Segundo Kurzrock et al. (2004), a secagem de cafés em altas temperaturas, associado à elevadas taxas de redução de água, acrescido ao longos tempos de armazenamento leva à danificação das membranas celulares, que causa o extravasamento de óleos e a oxidação, que aumenta os níveis dos ácidos graxos.

Na Tabela 7 são apresentadas os resultados das médias dos parâmetros de colorimetria de luminosidade (L), coordenadas “a” e “b”, Chroma (C) e Ângulo Hue (H) da porção de cafés verdes, excluídos os defeitos preto-verde e ardido. Os quais foram lidos após a secagem para cada um dos tratamentos analisados, onde é possível verificar que houve influência dos tratamentos de secagem na variação dos fatores de colorimetria.

Tabela 7 Parâmetros colorimétricos de Luminosidade, coordenadas “a” e “b”, Chroma e Hue da porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluída a porção de defeitos preto-verde e ardido.

Coordenadas colorimétricas	Tratamento		Tpo (°C)		
			2,6	10,8	16,2
Luminosidade (L)	Tbs (°C)	35	42,94 aA	43,56 bA	44,72 bB
		40	41,95 aA	42,10 aA	41,71 aA
		45	46,67 bC	41,09 aA	42,96 aB
a	Tbs (°C)	35	0,36 aA	0,62 aB	0,86 bC
		40	0,76 bB	0,77 aB	0,52 aA
		45	0,83 bA	0,76 aA	0,76 bA
b	Tbs (°C)	35	15,47 aA	15,30 bA	16,61 cB
		40	14,67 aA	14,68 aA	14,33 aA
		45	17,18 bC	14,29 aA	15,53 bB
Chroma	Tbs (°C)	35	15,48 aA	15,32 aA	16,64 cB
		40	14,69 aA	14,71 aA	14,34 aA
		45	17,20 bC	14,31 aA	15,55 bB
Hue	Tbs (°C)	35	88,66 bB	87,68 aA	87,02 aA
		40	87,07 aA	86,99 aA	87,95 bB
		45	87,24 aA	86,95 aA	87,22 aA

Médias seguidas por letra minúsculas iguais dentro da coluna e letras maiúsculas dentro da linha não diferem entre si ($P>0,05$), pelo teste Scott-Knott.

A coordenada “L”, faz referência à luminância dos grãos, onde os valores vão de 0 (preto) à 100 (branco). Dentre os tratamentos realizados na Tbs de 35 °C, a combinação com a Tpo de 2,6 °C apresentou os menores valores de “L”, desejáveis à secagem adequada do café. À medida que aumentou-se a Tpo dentro da Tbs de 35 °C, os valores de “L” também avançaram.

As coordenadas “a” e “b” variam de -80 a +80, sendo que os valores negativos de “a” representam as tonalidades de verde e as positivas de vermelho. Já os valores negativos de “b” representam os tons de azul e os positivos os amarelo. Posto isto, as cores desejadas no café beneficiado seco são representadas pelos menores valores de “a” e “b”, demonstrando tons verde azulado. Segundo Abreu et al. (2015), a intensidade das cores verde, azul e luminância dos grãos de café sofrem interferência de acordo com o método de processamento, beneficiamento e condições de armazenamento.

A menor média da coordenada “a” foi encontrada no tratamento de Tbs de 35 °C com Tpo de 2,6 °C (0,36), valor mais próximo ao controle (0,27). Coradi et al. (2008), também verificaram valores de “L” e da coordenada “a”, superiores na temperatura de secagem 60 °C, em que os cafés foram classificados como de pior qualidade, comparado àqueles secados em temperaturas de 40 °C, no secador mecânico.

Em relação aos valores da coordenada “b”, houve tendência à menores valores, mais próximos à cor azul, na Tbs de 40 °C. Já os valores de Chroma, parâmetro que representa a saturação de cores, apresenta os menores valores na Tbs de 40 °C. Por último, os valores do ângulo Hue, apresentaram maiores médias no controle (88,99) e na Tbs de 35 °C com Tpo de 2,6 °C e Tbs de 40 °C com Tpo de 16,2 °C.

Já na Tabela 8 são mostrados os resultados dos parâmetros de colorimetria das porções de defeitos escuros (preto-verde e ardido), de cada um dos tratamentos após a secagem.

Tabela 8 Parâmetros colorimétricos de Luminosidade, coordenadas “a” e “b”, Chroma e Hue da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.

Coordenadas colorimétricas	Tratamento		Tpo (°C)		
			2,6	10,8	16,2
Luminosidade (L)	Tbs (°C)	35	38,26 bA	37,93 bA	37,72 aA
		40	36,24 aA	36,33 aA	36,55 aA
		45	39,27 bB	35,63 aA	36,60 aA
a	Tbs (°C)	35	0,91 aA	1,71 aB	2,08 bC
		40	1,54 bA	1,55 aA	1,36 aA
		45	1,45 bA	1,43 aA	1,30 aA
b	Tbs (°C)	35	11,94 bA	11,72 bA	12,41 bA
		40	10,83 aA	10,80 aA	11,07 aA
		45	13,29 cC	10,25 aA	11,34 aB
Chroma	Tbs (°C)	35	11,97 aA	11,85 bA	12,59 bA
		40	10,95 aA	10,92 aA	11,15 aA
		45	13,37 bB	10,35 aA	11,41 aA
Hue	Tbs (°C)	35	85,61 cB	81,63 aA	80,48 aA
		40	81,73 aA	81,74 aA	83,05 bA
		45	83,66 bA	82,02 aA	83,48 bA

Médias seguidas por letra minúsculas iguais dentro da coluna e letras maiúsculas dentro da linha não diferem entre si ($P>0,05$), pelo teste Scott-Knott.

Houve tendência a menores valores de “L” nos tratamentos com Tbs em 40 °C. Para a coordenada “a”, o menor valor encontra-se na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 2,6 °C, tal como nos valores de “a” relatados na Tabela 7. Esse tratamento também apresentou os valores mínimos em porcentagem de defeitos preto-verde, descritos na Tabela 3, sugerindo por este parâmetro de cor, que tal combinação é a mais adequada para secagem do café verde.

Ao comparar as médias das leituras de luminosidade da porção sem e dos defeitos, verificou-se que houve diminuição do “L” na porção com defeitos, devido ao escurecimento dos grãos, o que segundo Franca et al. (2005), permite dizer que o parâmetro “L” sozinho pode ser empregado para a distinção de porções de café com e sem defeito para separação dos grãos

antecipadamente à torra. O mesmo autor, trabalhando com atributos físicos e químicos de defeitos do café, realizou leitura das cores, e assim como nesse trabalho, misturou defeitos preto verde e ardido (PVA), onde obteve valores médios do parâmetro “L”, Chroma e Hue de 39, 34 e 87, respectivamente. Os quais são semelhantes aos de “L”, da Tabela 8 e Hue, da Tabela 7, do presente estudo.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, concluiu-se que:

A menor porcentagem de formação de defeitos preto-verde se deu na temperatura de 35 °C, combinada à temperatura de ponto de orvalho de 2,6 °C (11,00%). Sendo esse o tratamento mais adequado à secagem de cafés naturais verdes. Em contrapartida, a maior porcentagem deste defeito aconteceu na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 16,2 °C (14,17%).

Comparando-se o tempo de secagem da Tbs de 35 para 45 °C, há redução no período de secagem de quase 50%, analisando-se dentro da mesma Tpo.

O menor valor do coeficiente de difusão efetivo se deu na combinação de Tbs 35 °C com Tpo 16,2 °C, sugerindo que valores de coeficiente de difusão efetivo iguais ou menores que $0,551 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ demonstram secagem inadequada para café natural imaturo.

O modelo de Midilli apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais para todas as combinações de secagem do café verde natural, 3 Tbs (35, 40 e 45 °C) versus 3 Tpo (2,6; 10,8; 16,2 °C).

A menor TRA, dentre as iniciais, foi de $0,063 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ e aconteceu na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 16,2 °C, na qual houve maior surgimento de defeitos preto-verde, confirmando que a TRA lenta no início do processo de secagem para cafés imaturos é favorável ao surgimento deste defeito.

Na porção de cafés sem defeitos, dentre os tratamentos realizados na Tbs de 35 °C, a combinação com a Tpo de 2,6 °C apresentou os menores valores de “L”, desejáveis à secagem adequada do café. À medida que aumentou-se a Tpo dentro da Tbs de 35 °C, os valores de “L” também avançaram.

Para a coordenada “a”, os menores valores encontram-se na combinação de Tbs de 35 °C com Tpo de 2,6 °C, na porção sem e dos defeitos. Sugerindo por este parâmetro de cor, que tal combinação é a mais adequada para secagem do café verde natural.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, G. F. D. et al. Alterações na coloração de grãos de café em função das operações pós-colheita. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 429-436, 2015.
- AFONSO JUNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.
- ALMEIDA, D. P. et al. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 72 - 83, 2009.
- ALVARENGA, S. T. et al. Caracterização química e físico-química dos cafés especiais das regiões Matas de Minas e Sul de Minas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9. 2015, Curitiba. **Resumos...Curitiba**, 2015.
- ALVES, G. E. et al. Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2013.
- ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M. Modelagem matemática e simulação aplicados na secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 301-347.
- ARAÚJO, W. D. et al. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista de Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
- ARAÚJO, W. D. et al. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 279-286, 2014.
- BANDEIRA, C. C. D. R. et al. Composição volátil dos defeitos intrínsecos do café por CG/EM-headspace. **Química Nova**, São Paulo, v. 32 n. 2, p. 309-314, 2009.
- BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.
- BASSANEZI, R. C. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática. São Paulo: Contexto, 2002. 389 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

- BOTELHO, F. M. et al. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 2, p. 260-272, 2015.
- BOTELHO, F. M. et al. Modelagem matemática da contração volumétrica de grãos de soja durante o processo de secagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 1-12, 2018.
- BORÉM, F. M. et al. Quality of natural coffee dried under different temperatures and drying rates. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 159-167, 2018.
- BORÉM, F. M. Processamento do café. In: _____. Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.
- BORGES, P. A. P. **Modelagem dos processos envolvidos nos sistemas de secagem e armazenamento de grãos**. 2002, 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450 p.
- CAMICIA, R. G. M. (2015). Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 206-214, 2015.
- CORADI, P. C; BOREM, F. M; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.
- CARDOSO, I. R. M. et al. Análise da cinética e modelagem matemática da secagem da polpa de buriti (*mauritia flexuosa* L) (analysis kinetics and mathematical models of the buriti's pulp drying). **Engvista**, v. 19, n. 5, p. 1188-1197, 2017.
- CARVALHO, J. M. G. et al. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas da secagem do grão de girassol. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 2, p.136-149, 2018.
- CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, 2010.
- CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. D. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul, MN: American Association of Cereals Chemists, 1974. p. 158-192.
- COSTA, L. M. et al. Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, 2015.

- DIAS, E. C. et al. Determinação dos níveis de acrilamida em cafés verdes obtidos por diferentes processamentos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. 2009, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2009.
- DONZELES, S. M. L et al. Colheita e processamento do café arábica. In: REIS, P. R; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R. **Café Arábica da pós-colheita ao consumo**. Lavras: U. R. EPAMIG SM, p. 19-67, 2011.
- DOYMAZ, I.; KIPCAK, A. S.; PISKIN, S. Characteristics of Thin-layer Infrared Drying of Green Bean. **Czech Journal of Food Science**, v. 33, n. 1, p. 83-90, 2015.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- FERREIRA, L. F. D. et al. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 855-862, 2012.
- FRANÇA, A. C.; JESUS, A. M. S. Qualidade físico química de duas cultivares de café em quatro estádios de maturação. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 5., 2007, Águas de Lindóia, SP). **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2007.
- FRANCA, A. S. et al. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, v. 90, n. 1-2, p. 89-94, 2005.
- FORTES, M. et al. Modelagem de um condicionador de ar de alta precisão para uso em processamento agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 578-589, 2006.
- GUARÇONI, R. C. **Efeito da temperatura de secagem e da percentagem de frutos verdes na qualidade do café conilon (Coffea canephora Pierre ex Froehner)**. 1995. 50p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- GONÇALEZ, J. C. et al. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 72, p. 47-58, 2001.
- GONELI, A. L. D. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, 2014.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Expresso coffee: the chemistry of quality**. London: Academic, 1995. 253 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee: determination of loss mass at 105 °C: ISO 6673**. Geneva, 2003. 17 p.
- ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café desmucilado submetido ao parcelamento de secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2011.
- JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR. **Drying of foods, vegetables and fruits**. 1. ed. Singapore: National University of Singapore, 2010, 232p.
- KASHANINEJAD, M. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KURZROCK, T.; KOLLING-SPEER, I.; SPEER, K. Effects of Controlled Storage on the Lipid Fraction of Green Arabica Coffee Beans. **Food Chemistry**, v. 66, p. 161-168, 2004.

LEMOS, I. A. **Determinação da qualidade imediata e latente de café secado com baixas umidades relativas do ar**. 2018. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2018.

LOEWER, O. J.; BRIDGES, T. C.; BUCKLIN, R. A. On-farm drying and storage system. St. Joseph, Mich. **American Society of Agricultural Engineers**, 560 p. 1994.

LOPES, R. P; HARA, T; SILVA, J. S. Avaliação da qualidade de grãos de café pela colorimetria. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 3, p. 160-169, 1998.

LOUGHREY, K. Overview of Color Analysis. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, 2002.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 28, n. 1, p. 109-119, 1996.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 21, n. 5, p. 431-440, 2013.

MALTA, M. R. Processamento e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 66-75, 2011.

MARQUES, E. R. et al. 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**, v.32, n.5, p.1557-1562, 2008.

MARTINS, E. A. S. et al. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018.

MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, Inglaterra, v. 77, n. 3, p. 175-193, 1999.

MEIRELLES, A. M. A. **Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (*Coffea arabica* L.) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais**. 1990. 71 p. Dissertação (Mestrado) – ESAL, Lavras, MG, 1990.

MELO, P. de C. et al. Modelagem matemática das curvas de secagem de grãos de feijão carioca. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 11, n. 3, p.247-252, 2016.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

MOSCON, E. S. et al. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* w.). **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 25, n. 4, p. 318-325, 2017.

- NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. de. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 686-692, 2015.
- NOBRE, G. W. **Processamento e qualidade de frutos verdes de café arábica**. 2009, 97 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.
- OLIVEIRA, D. E. C. de et al. Cinética de secagem dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 190-201, 2012.
- OLIVEIRA, P. D. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café, submetidos a diferentes tipos de processamento e métodos de secagem, associados à qualidade da bebida. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 211-220, 2013.
- ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território, Certificação de origem e a busca da singularidade. O caso do café do cerrado. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Porto Alegre, 2009.
- PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thinlayer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.
- PETRY, V. J.; BORTOLI, A. L.; SEFIDVASH, F. Passive cooling of a fixed bed nuclear reactor. **Lavoisier**, Paris, p.305-308, 2005.
- PIRES, M. de M. et al. Impactos do crescimento do consumo de cafés especiais na competitividade inter-regional da atividade cafeeira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 41, n. 3, p. 53-71, 2003.
- REZENDE, J. E. de. Defeitos do café. **Série tecnológica cafeicultura**, Emater-MG, 6 p. 2013.
- RODOVALHO, R. S. et al. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2015.
- SAATH, R. **Qualidade do café natural e despulpado em diferentes condições de secagem e tempos de armazenamento**. 2010. 229 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- SILVA, F. M. et al. **Colheita mecanizada e seletiva do café: cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 75 p.
- SILVA, F. C. et al. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 468- 474, 2010.
- SILVA, L. A. et al. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de Jenipapo (*Genipa americana*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015.
- SILVA, F. P. da et al. Thermodynamic properties and drying kinetics of *Bauhinia forficata* Link leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 61-67, 2017.
- SIQUEIRA, V. C. et al. Drying kinetics of processed natural coffee with high moisture content. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 400 - 409, 2017.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, Viçosa. v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012.

SOUSA, F. A. de. et al. Estudo da cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do morango (*Fragaria sp.*). **Engevista**, v. 16, n. 1, p. 8-18, 2014.

SOUZA, W. A. da R. de et al. Avaliação de eficiência de estratégias de hedge para o risco de preço do café do Brasil com o uso de contratos da BM&FBOVESPA. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**. Santa Maria, v. 10, n. 5, p. 908-928, 2017.

TEIXEIRA, A. A. et al. A influência de grãos verdes em ligas de café de bebida mole. **Boletim Técnico**, São Paulo: Instituto Brasileiro do Café, v. 3, 1970. 15p.

TEIXEIRA, A. A. et al. Grãos defeituosos em café colhido verde. **Bragantina**, v. 30, n. 8, p. 77-90, 1971.

TEIXEIRA, A. A. et al. O efeito da temperatura de secagem na caracterização dos defeitos provenientes de frutos colhidos verdes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 7, 1979, Araxá. **Resumos...** Araxá, 1979. p.353-57.

TEIXEIRA, A. A.; LEVY, F. A.; CARVALHO, A. Observações sobre várias características do café colhido verde e maduro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Londrina. **Resumo...**, p.227-228, 1984.

TORREZ IRIGOYEN, R. M., GINER, S. A. Drying-toasting kinetics of presoaked soybean in fluidised bed. Experimental study and mathematical modelling with analytical solutions. **Journal of Food Engineering**, London, v. 128, n. 1, p. 31-39, 2014.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa L.*) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

WINTGENS, J. N. **Coffee: growing, processing, sustainable production**. Weinheim: Wiley VCH, 2004. 711 p.

ZAIDAN, U. R. **Qualidade dos cafés da “região das matas de minas” em função da variedade, da altitude e da orientação da encosta da montanha**. 2015. 43 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

7. ANEXOS

Tabela 9 Resumo da análise de variância dos dados obtidos das coordenadas de Luminosidade porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluída a porção de defeitos preto-verde e ardido.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	24.334307	12.167154	14.302 0.0001*
TPO	2	15.533773	7.766886	9.130 0.0009*
TBS*TPO	4	55.937385	13.984346	16.438 0.0000*
erro	27	22.969646	0.850728	
Total corrigido	35	118.775111		

CV (%) = 2.14

Média geral: 43.0774972 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 10 Resumo da análise de variância dos dados obtidos da coordenada “a” da porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluída a porção de defeitos preto-verde e ardido.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	0.170613	0.085307	3.886 0.0329*
TPO	2	0.033571	0.016786	0.765 0.4753
TBS*TPO	4	0.645696	0.161424	7.354 0.0004*
erro	27	0.592658	0.021950	
Total corrigido	35	1.442538		

CV (%) = 21.41

Média geral: 0.6920444 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 11 Resumo da análise de variância dos dados obtidos da coordenada “b” da porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluída a porção de defeitos preto-verde e ardido.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	11.042655	5.521327	18.341 0.0000*
TPO	2	6.595948	3.297974	10.955 0.0003*
TBS*TPO	4	14.615525	3.653881	12.137 0.0000*
erro	27	8.128146	0.301042	
Total corrigido	35	40.382274		

CV (%) = 3.58

Média geral: 15.3416722 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 12 Resumo da análise de variância dos dados obtidos de Chroma da porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluída a porção de defeitos preto-verde e ardido.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	11.029696	5.514848	18.219 0.0000*
TPO	2	6.544844	3.272422	10.811 0.0004*
TBS*TPO	4	14.745025	3.686256	12.178 0.0000*
erro	27	8.172928	0.302701	
Total corrigido	35	40.492493		

CV (%) = 3.58
 Média geral: 15.3587056 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 13 Resumo da análise de variância dos dados obtidos de Hue da porção de cafés verdes secos e beneficiados, excluía a porção de defeitos preto-verde e ardido.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	2.664746	1.332373	4.437 0.0216*
TPO	2	1.235744	0.617872	2.058 0.1473
TBS*TPO	4	6.644740	1.661185	5.533 0.0022*
erro	27	8.106891	0.300255	
Total corrigido	35	18.652121		

CV (%) = 0.63
 Média geral: 87.4201778 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 14 Resumo da análise de variância dos dados obtidos das coordenadas de Luminosidade da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	15.312206	7.656103	5.422 0.0105*
TPO	2	10.892172	5.446086	3.857 0.0336*
TBS*TPO	4	18.354861	4.588715	3.250 0.0267*
erro	27	38.126325	1.412086	
Total corrigido	35	82.685564		

CV (%) = 3.20
 Média geral: 37.1680556 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 15 Resumo da análise de variância dos dados obtidos das coordenadas “a” da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	0.182006	0.091003	2.407 0.1091
TPO	2	0.600089	0.300044	7.938 0.0019*
TBS*TPO	4	2.409694	0.602424	15.937 0.0000*
erro	27	1.020600	0.037800	
Total corrigido	35	4.212389		

CV (%) = 13.13
 Média geral: 1.4805556 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 16 Resumo da análise de variância dos dados obtidos das coordenadas “b” da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	7.772372	3.886186	7.162 0.0032
TPO	2	7.351806	3.675903	6.774 0.0041
TBS*TPO	4	12.824894	3.206224	5.909 0.0015

erro	27	14.651025	0.542631
Total corrigido	35	42.600097	

CV (%) = 6.40

Média geral: 11.5147222 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 17 Resumo da análise de variância dos dados obtidos do chroma da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	7.800439	3.900219	7.267 0.0030*
TPO	2	6.887356	3.443678	6.416 0.0052*
TBS*TPO	4	13.319894	3.329974	6.205 0.0011*
erro	27	14.490675	0.536692	
Total corrigido	35	42.498364		

CV (%) = 6.31

Média geral: 11.6169444 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.

Tabela 18 Resumo da análise de variância dos dados obtidos do Hue da porção de defeitos preto-verde e ardido do café verde seco e beneficiado.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	4.632572	2.316286	1.898 0.1694
TPO	2	22.283106	11.141553	9.128 0.0009*
TBS*TPO	4	46.685011	11.671253	9.562 0.0001*
erro	27	32.955275	1.220566	
Total corrigido	35	106.555964		

CV (%) = 1.34

Média geral: 82.5980556 Número de observações: 36

Tabela 19 Resumo da análise de variância dos dados obtidos pela obtenção das porcentagens de defeitos preto-verde em cada uma das condições de secagem do café verde.

FV	GL	SQ	QM	Fc Pr>Fc
TBS	2	7.119344	3.559672	4.678 0.0180*
TPO	2	14.974154	7.487077	9.839 0.0006*
TBS*TPO	4	15.304560	3.826140	5.028 0.0037*
erro	27	20.546004	0.760963	
Total corrigido	35	57.944062		

CV (%) = 6.87

Média geral: 12.6983806 Número de observações: 36

*diferença significativa ($p>0,05$), pelo teste F.