

**RAIANE ANDREZA DE SOUZA**

**ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE CAFÉ SUBMETIDAS À SECAGEM A  
PLENO SOL EM TERREIRO SUSPENSO E À SECAGEM POR VENTILAÇÃO  
FORÇADA À SOMBRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Eduardo Fontes Araujo

Coorientadores: Edgard Augusto de T. Picoli  
Roberto Fontes Araujo  
Marcelo de Freitas Ribeiro  
Antônio Policarpo S. Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729a Souza, Raiane Andreza de, 1991-  
2023 Armazenamento de sementes de café submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra / Raiane Andreza de Souza. – Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (98 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Eduardo Fontes Araujo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.357>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Café - Semente - Armazenamento. 2. Café - Semente - Secagem. 3. Germinação. I. Araujo, Eduardo Fontes, 1957-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.73

RAIANE ANDREZA DE SOUZA

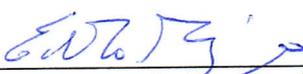
**ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE CAFÉ SUBMETIDAS À SECAGEM A  
PLENO SOL EM TERREIRO SUSPENSO E À SECAGEM POR VENTILAÇÃO  
FORÇADA À SOMBRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de março de 2023

Assentimento:

  
\_\_\_\_\_  
Raiane Andreza de Souza  
Autora

  
\_\_\_\_\_  
Eduardo Fontes Araujo  
Orientador

*Aos meus pais, Adalberto e Maria Aparecida,  
e ao meu irmão, Wendel.*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por guiar todos os meus passos e me sustentar nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Adalberto e Maria Aparecida, e ao meu irmão, Wendel, pelo apoio e incentivo.

A minha colega de laboratório, Ana Paula, por me acompanhar no planejamento e execução da pesquisa.

À Tainara e ao Marcos, técnicos do Laboratório de Sementes na época de execução da pesquisa, e ao Edilson e à Amanda, marido e irmã da Ana Paula, pela ajuda na realização dos testes.

À Joseane, pela ajuda na realização das análises de anatomia e histoquímica.

Ao André e à Fernanda, estagiário e Pós-doutoranda do Laboratório de Pós-colheita de Hortaliças, pela orientação e supervisão das análises bioquímicas, e ao meu colega de laboratório, Maricélio, e ao seu amigo, João Neto, pela ajuda na realização dessas análises.

Aos estudantes e aos técnicos dos Laboratórios utilizados durante a pesquisa, pelo acompanhamento no uso dos equipamentos.

Aos funcionários da Fábrica de Ração, pelo expurgo das sementes.

Ao meu orientador, prof. Eduardo Fontes Araujo, pelo apoio e orientação.

Ao meu coorientador, prof. Antônio Policarpo, pela ajuda com a parte de estatística.

Aos meus coorientadores, prof. Edgard, Roberto e Marcelo, pelas experiências compartilhadas e orientação na execução da pesquisa.

Ao meu coorientador, Marcelo, pelo fornecimento das sementes de café.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pela disponibilização da câmara fria e do moinho de bolas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade de realizar o Doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

SOUZA, Raiane Andreza de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2023. **Armazenamento de sementes de café submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra.** Orientador: Eduardo Fontes Araujo. Coorientadores: Edgard Augusto de Toledo Picoli, Antônio Policarpo Souza Carneiro, Roberto Fontes Araujo e Marcelo de Freitas Ribeiro.

A secagem é um fator importante para possibilitar o armazenamento das sementes de café. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade fisiológica e as alterações anatômicas e nos compostos de reserva durante o armazenamento de sementes de café arábica, após serem submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra, até diferentes teores de água. Sementes de café (*Coffea arabica* L., Cultivar Paraíso MG H 419-1) foram secas a pleno sol em terreiro suspenso e por ventilação forçada à sombra, até teores de água de 35, 20 e 14%. Em seguida, foram expurgadas com fosfina por 96 h, tratadas com o fungicida Tecto® (1 ml kg<sup>-1</sup> de sementes), acondicionados em embalagem plástica impermeável e armazenadas em câmara fria, a 12 °C e 60% de umidade relativa, por 0, 4, 8 e 12 meses. Ao final de cada período de armazenamento, realizou-se a determinação dos teores de água e os testes de germinação, protrusão radicular, comprimento de plântulas e massa de matéria seca de plântulas. Os testes de emergência total e índice de velocidade de emergência (IVE) foram realizados aos 4, 8 e 12 meses de armazenamento. Para cada tempo de armazenamento, também foram realizadas análises do teor de proteínas e de carboidratos solúveis das sementes. Além disso, foi realizada a caracterização anatômica do endosperma das sementes antes e após o armazenamento. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 3 x 4 (dois métodos de secagem, três teores de água e quatro tempos de armazenamento), com 3 repetições, exceto para os testes de emergência e IVE, conduzidos em delineamento de blocos casualizados (DBC) e em esquema fatorial 2 x 3 x 3 (dois métodos de secagem, três teores de água e três tempos de armazenamento). Os dados dos fatores qualitativos (teor de água e métodos de secagem) foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, em

nível de 5% de significância. Os dados dos fatores quantitativos (tempo de armazenamento) foram analisados por regressão. Os resultados referentes à caracterização anatômica foram analisados descritivamente. A germinação das sementes foi semelhante entre os métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento. O armazenamento provocou reduções no vigor e alterações nos teores de açúcares e proteínas solúveis das sementes. A integridade das células do endosperma das sementes foi preservada após doze meses de armazenamento, porém, histologicamente, houve alteração no conteúdo celular, entre a 3ª e a 10ª camada de células da região periférica do endosperma. Conclui-se que, independentemente do teor de água final, a secagem a pleno sol em terreiro suspenso e a secagem por ventilação forçada à sombra não afetaram a germinação das sementes de café durante o armazenamento. As sementes armazenadas mantiveram atividade metabólica, evidenciada pelas alterações nos teores de açúcares e proteínas solúveis, no entanto, essa atividade não afetou a germinação.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Metabolismo das sementes. Germinação. Vigor. Carboidratos solúveis.

## ABSTRACT

SOUZA, Raiane Andreza de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2023. **Storage of coffee seeds submitted to drying in full sun in suspended terrace and drying by forced ventilation in the shade.** Advisor: Eduardo Fontes Araujo. Co-advisors: Edgard Augusto de Toledo Picoli, Antônio Policarpo Souza Carneiro, Roberto Fontes Araujo and Marcelo de Freitas Ribeiro.

Drying is an important factor to enable the storage of coffee seeds. Thus, the objective of this research was to evaluate the physiological quality, anatomical and reserve compounds changes during the storage of Arabica coffee seeds, after being subjected to sun drying on suspended terrace and shade drying with forced ventilation, to different moisture contents. Coffee seeds (*Coffea arabica* L., Cultivar Paraíso MG H 419-1) were dried under full sun on suspended terrace and shade drying with forced ventilation until moisture contents of 35%, 20%, and 14%. Subsequently, the seeds were fumigated with phosphine for 96 hours, treated with the fungicide Tecto® (1 ml kg<sup>-1</sup> of seeds), placed in impermeable plastic packaging, and stored in a cold chamber at 12 °C and 60% relative humidity for 0, 4, 8, and 12 months. At the end of each storage period, water content determination, germination tests, root protrusion, seedling length, and seedling dry weight were performed. Total emergence and emergence speed index (ESI) tests were conducted at 4, 8, and 12 months of storage. For each storage time, protein and soluble carbohydrate content analyses were also performed. In addition, the anatomical characterization of the endosperm of the seeds was carried out before and after storage. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) in a 2 x 3 x 4 factorial scheme (two drying methods, three moisture contents, and four storage times), with three replications, except for the emergence and ESI tests, which were conducted in a randomized block design (RBD) in a 2 x 3 x 3 factorial scheme (two drying methods, three moisture contents, and three storage times). The data from qualitative factors (water content and drying methods) were subjected to analysis of variance and means were compared by the Tukey test at a 5% significance level. The data from quantitative factors (storage time) were analyzed by regression. The results regarding the anatomical characterization were analyzed descriptively. Seed germination was similar

between the drying methods, water content, and storage time. Storage caused reductions in vigor and changes in the levels of soluble sugars and proteins in the seeds. The integrity of the endosperm cells was preserved after twelve months of storage; however, histologically, there were changes in cellular content between the 3rd and 10th cell layers of the peripheral region of the endosperm. It is concluded that, regardless of the final water content, sun drying on suspended terrace and shade drying with forced ventilation did not affect the germination of coffee seeds during storage. The stored seeds maintained metabolic activity, evidenced by changes in the levels of soluble sugars and proteins, but this activity did not affect germination.

Keywords: *Coffea arabica* L.. Seed metabolism. Germination. Vigor. Soluble carbohydrates.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	11
REFERÊNCIAS .....	14
CAPÍTULO I .....	18
RESUMO.....	18
ABSTRACT .....	20
1. INTRODUÇÃO .....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 Delineamento experimental.....	25
2.2 Obtenção das sementes .....	25
2.3 Determinação do teor de água inicial.....	26
2.4 Secagem e armazenamento .....	26
2.5 Determinação do teor de água e análises da qualidade fisiológica.....	28
2.6 Análises estatísticas.....	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3.1 Secagem .....	32
3.2 Teor de água.....	35
3.3 Análises da qualidade fisiológica .....	36
3.3.1 Germinação .....	36
3.3.2 Protrusão radicular.....	40
3.3.3 Comprimento de plântulas .....	43
3.3.4 Massa de matéria seca de plântulas.....	45
3.3.5 Emergência de plântulas .....	47
3.3.6 Índice de velocidade de emergência.....	50
3.4 Considerações finais.....	52
4. CONCLUSÕES .....	53
5. REFERÊNCIAS.....	54
CAPÍTULO II .....	60
RESUMO.....	60
ABSTRACT .....	62
1. INTRODUÇÃO .....	64
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	67

2. 1 Delineamento experimental.....	67
2. 2 Obtenção das sementes .....	67
2. 3 Secagem .....	67
2. 4 Tratamento e armazenamento .....	69
2. 5 Teste de germinação .....	69
2. 6 Análises bioquímicas .....	69
2.6.1 Obtenção das amostras.....	70
2.6.2 Extração e determinação do conteúdo de proteínas solúveis.....	70
2.6.3 Obtenção do extrato para quantificação dos açúcares solúveis totais e redutores.....	70
2.6.4 Quantificação dos açúcares solúveis totais .....	71
2.6.5 Quantificação dos açúcares redutores.....	71
2.6.6 Determinação do conteúdo de açúcares não redutores .....	72
2. 7 Análises anatômicas e histoquímicas .....	72
2. 8 Análises estatísticas.....	73
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
3.1 Germinação.....	73
3.2 Proteínas solúveis.....	74
3.3 Açúcares solúveis totais.....	78
3.4 Açúcares redutores .....	81
3.5 Açúcares não redutores .....	84
3.6 Análises anatômicas e histoquímicas .....	86
3.7 Considerações finais.....	87
4. CONCLUSÕES .....	88
5. REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICE A- Capítulo I .....	94
APÊNDICE B- Capítulo II .....	96

## INTRODUÇÃO GERAL

A secagem é uma etapa pós-colheita fundamental para muitos produtos agrícolas. Consiste na perda de parte da água contida no produto, na forma de vapor, devido ao gradiente de pressão de vapor entre a superfície do produto e o ar de secagem (Silva et al., 2008). O objetivo da secagem em produtos agrícolas é reduzir o teor de água a um nível seguro para evitar o desenvolvimento microbiano e minimizar as reações de deterioração (Chin e Law, 2010; Munjundar e Law, 2010; Chou e Chua, 2001).

Para várias culturas agrícolas, a secagem é o principal fator que possibilita o armazenamento de suas sementes. Quando secas, as sementes apresentam baixas taxas respiratórias e a atividade metabólica é reduzida, minimizando a ocorrência de reações oxidativas que levam à deterioração durante o armazenamento (Kim, 2018; Murthy et al., 2003). No entanto, nem todas as sementes conseguem manter o potencial de germinação quando ocorre a redução do teor de água. As sementes classificadas como recalcitrantes perdem a viabilidade quando secas até baixos teores de água e não toleram baixas temperaturas durante o armazenamento (Roberts, 1972). Por outro lado, as sementes classificadas como ortodoxas suportam reduções significativas no teor de água e podem ser armazenadas por longos períodos (Pammenter e Berjak, 1999; Roberts, 1972). Existe também uma classe de sementes com comportamento intermediário entre sementes ortodoxas e recalcitrantes. Estas são chamadas de intermediárias e toleram secagem até a faixa de 7 a 11% de teor de água, porém, não toleram baixas temperaturas (- 20 °C) durante o armazenamento e não podem ser armazenados por um período prolongado (Ellis et al., 1990).

Espécies do gênero *Coffea* são exemplos de plantas que possuem sementes com comportamento intermediário para tolerância à dessecação (Ellis et al., 1990). Portanto, essas espécies apresentam certa sensibilidade à secagem e um tempo de conservação relativamente curto.

O gênero *Coffea* é composto por mais de 70 espécies, porém a maioria não é usada para fins comerciais. As duas principais espécies cultivadas comercialmente são *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta ou conilon) (Eira et al., 2006). Devido ao seu maior valor de mercado, o café arábica tem

uma produção mais significativa em comparação ao café conilon. Conforme o relatório do United States Department of Agriculture (USDA), o arábica representou mais de 54% da produção mundial de café na safra de 2022/23 (USDA, 2022).

O café arábica é uma planta autógama (Sakiyama et al., 1999) e sua propagação é geralmente por sementes (Rosa et al., 2011). No entanto, as sementes de café têm um curto período de conservação, o que representa uma dificuldade para viveiristas e cafeicultores, pois é necessário realizar a semeadura para a formação das mudas logo após a colheita. Esse fato pode concentrar a oferta de mudas em períodos com condições climáticas desfavoráveis para o plantio (Araujo et al., 2008; Gentil et al., 2001).

Na busca por condições pós-colheita que aumentem o tempo de conservação das sementes de café, vários estudos foram conduzidos (Penido et al., 2021; Nasiro et al., 2017; Ribeiro et al., 2016; Coelho et al., 2015; Abreu et al., 2014; Araujo et al., 2008; Vieira et al., 2007; Veiga et al., 2007; Brandão Junior et al., 2002; Gentil et al., 2001; Braccini et al., 1999). Em geral, esses estudos revelaram que o teor de água e a temperatura de armazenamento são os principais fatores que influenciam na manutenção da qualidade das sementes de café. Na maioria desses trabalhos, há um consenso de que o armazenamento deve ser realizado em baixas temperaturas (7 a 10 °C), porém, devido à variabilidade de resultados encontrados, o teor de água ideal e o tempo máximo de armazenamento dessas sementes permanecem indefinidos.

Além do teor de água e da temperatura de armazenamento, os métodos de secagem também podem estar relacionados à conservação das sementes de café. Por ser uma condição estressante, independentemente do método de secagem utilizado, afetará de alguma forma a qualidade das sementes. No entanto, estudos mostraram que a remoção mais lenta da água, através da secagem à sombra, resultou em sementes de melhor qualidade e maior tempo de conservação em comparação com a secagem rápida usando ar aquecido (30 a 35 °C) (Abreu et al., 2014; Vieira et al., 2007). De acordo com Abreu et al. (2014), sementes submetidas à secagem mais lenta apresentam maior tolerância à dessecação, pois o tempo prolongado de secagem permite uma ativação mais efetiva dos mecanismos de reparo dos danos oxidativos causados as membranas celulares.

Embora a secagem à sombra tenha se mostrado benéfica para a manutenção da qualidade fisiológica de sementes de café secas e armazenadas, é importante

considerar que esse método requer um tempo mais longo de secagem. As desvantagens relacionadas a esse maior tempo de secagem incluem o favorecimento à deterioração, à fermentação e à proliferação de patógenos associados às sementes.

Uma alternativa para esse problema é a utilização de métodos de secagem com taxas intermediárias, como a secagem por ventilação forçada à sombra e a secagem a pleno sol em terreiro suspenso. Quando comparados à secagem à sombra, a velocidade de secagem desses métodos é maior, reduzindo o tempo de processo. Por outro lado, quando comparados à secagem com ar aquecido, esses métodos apresentam uma taxa de secagem menor, o que pode minimizar a ocorrência de danos às membranas celulares e garantir maior qualidade e tempo de conservação das sementes armazenadas.

Neste sentido, considerando que a velocidade de secagem pode afetar a qualidade e o tempo de conservação das sementes de café, esta pesquisa investigou o efeito de métodos com taxas de secagem intermediárias na preservação da qualidade dessas sementes ao longo de um período de armazenamento de doze meses. Além disso, também foram investigados os teores de carboidratos e proteínas solúveis e as características anatômicas do endosperma das sementes durante o armazenamento.

A tese está organizada em dois capítulos: o Capítulo I refere-se à avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café arábica durante o armazenamento, após serem submetidas à secagem ao sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra, até diferentes teores de água. O Capítulo II aborda as características anatômicas do endosperma e as alterações dos conteúdos de carboidratos e proteínas solúveis após os processos de secagem e durante o armazenamento das sementes, bem como a relação dessas alterações com a germinação das sementes.

## REFERÊNCIAS

ABREU, L. A. D. S.; VEIGA, A. D.; VON PINHO, É. V. D. R.; MONTEIRO, F. F.; ROSA, S. D. V. F. D. Behavior of coffee seeds to desiccation tolerance and storage. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 4, p. 399-406, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n41008>.

ARAUJO, R. F.; ARAUJO, E. F.; CECON, P. R.; SOFIATTI, V. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despulpado e não despulpado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 71-78, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000300010>.

BRACCINI, L. A.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, M. D. C. L.; SGUAREZI, C. N. Efeito do grau de umidade e do tipo de embalagem na conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 21, n. 3, p. 571-577, 1999. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v21i0.4298>.

BRANDÃO JR, D. S.; VIEIRA, M. G. G. C; GUIMARÃES, R. M., HILHORST, H. W. M. Tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista brasileira de sementes**, v. 24, n. 2, p. 17-23, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100004>.

CHIN, S. K.; LAW, C. L. Product quality and drying characteristics of intermittent heat pump drying of *Ganoderma tsugae* Murrill. **Drying Technology**, v. 28, n. 12, p. 1457-1465, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482707>.

CHOU, S. K.; CHUA, K. J. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. **Trends in Food Science & Technology**, v. 12, n. 10, p. 359-369, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00102-9).

COELHO, S. V. B.; FIGUEIREDO, M. A. D.; CLEMENTE, A. D. C. S.; COELHO, L. F. S.; ROSA, S. D. V. F. D. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café secas em sílica gel e soluções salinas saturadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,

Brasília, v. 50, n. 6, p. 483-491, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000600007>.

EIRA, M. T.; SILVA, E. A.; CASTRO, R. D.; DUSSERT, S.; WALTERS, C.; BEWLEY, J. D.; HILHORST, H. W. Coffee seed physiology. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 149-163, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 9, p. 1167-1174, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/41.9.1167>.

GENTIL, D. F. D. O.; SILVA, W. R. D.; MIRANDA, D. M. D. Grau de umidade e temperatura na conservação de sementes de café. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 53-64, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000100007>.

KIM, D. H. Extending Populus seed longevity by controlling seed moisture content and temperature. **Plos one**, v. 13, n. 8, p. e0203080, 24 ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203080>.

MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L. Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 6, p. 843-852, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0353-1>.

MURTHY, U. M. N; KUMAR, P. P.; SUN, W. Q. Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiata* (L.) Wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillard reactions and their relationship to glass state transition. **Journal of Experimental botany**, v. 54, n. 384, p. 1057-1067, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erg092>.

NASIRO, K.; SHIMBER, T.; MOHAMMED, A. Germination and seedling growth rate of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds as influenced by initial seed moisture content, storage

time and storage condition. **International Journal of Agriculture Biosciences**, v. 6, n. 6, p. 304-310, 2017.

PAMMENTER, N. W; BERJAK, P. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. **Seed Science Research**, v. 9, n. 1, p. 13-37, 1999.

PENIDO, A. C.; REIS, V. U. V.; REZENDE, E. M. D.; ROCHA, D. K.; OLIVEIRA, J. A.; ROSA, S. D. V. F. D. Cold coffee seeds storage with different water content. **Coffee Science**, v. 16, p. e161844, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25186/.v16i.1844>.

RIBEIRO, M. D. F.; DE SOUZA, G. A.; ARAÚJO, E. F.; PIRES, R. M. D. O.; DONZELES, S. M. L. Alternative methods of biological control in maintaining the viability of stored coffee seeds. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 818-824, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.1049>.

ROBERTS, E. H. Storage environment and the control of viability. *In*: ROBERTS, E. H. (Ed.) **Viability of seeds**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. cap.2, p.14-58.

ROSA, S. D. V. F.; CARVALHO, A. M.; MCDONALD, M. B.; VON PINHO, E. R. V.; SILVA, A. P.; VEIGA, A. D. The effect of storage conditions on coffee seed and seedling quality. **Seed Science and Technology**, v. 39, n. 1, p. 151-164, 2011. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.1.13>.

SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; ZAMBOLIM, L. Melhoramento de café arábica. *In*: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 189-204.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. *In*: SILVA, J. S (Ed). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008. cap.5, p. 241–260.

USDA United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Coffee: World Markets and Trade**, p. 1-9, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2022.

VEIGA, A. D.; GUIMARÃES, R. M.; ROSA, S. D. V. F.; VON PINHO, E. V. R.; SILVA, L. H. C; VEIGA, A. D. Armazenabilidade de sementes de cafeeiro em diferentes estádios de maturação e submetidas a métodos diferentes de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n.1, p. 83-91, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100012>.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; PEREIRA, C. E.; CARVALHO, F. E. D. Armazenamento de sementes de cafeeiro: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 76-82, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100011>.

## CAPÍTULO I

### QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE CAFÉ SUBMETIDAS A DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM E AO ARMAZENAMENTO

#### RESUMO

As etapas de secagem e armazenamento são fundamentais para a produção e comercialização de sementes de café de alta qualidade. Portanto, estudos que busquem entender os efeitos desses fatores na qualidade fisiológica e na conservação dessas sementes são de suma importância. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento, após serem submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra, até diferentes teores de água. As sementes foram secas a pleno sol em terreiro suspenso e por ventilação forçada à sombra até teores de água de 35, 20 e 14%. Em seguida, foram expurgadas com fosfina por 96 h, tratadas com o fungicida Tecto® (1 ml kg<sup>-1</sup> de sementes), acondicionadas em embalagem plástica impermeável lacrada (aproximadamente 400 g de sementes/embalagem), e armazenadas em câmara fria, a 12 °C e 60% de umidade relativa, por 12 meses. Aos 0, 4, 8 e 12 meses de armazenamento, realizaram-se a determinação do teor de água das sementes e os seguintes testes de qualidade fisiológica: germinação, protrusão radicular, comprimento de plântulas e massa de matéria seca de plântulas. Os testes de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE) foram realizados aos 4, 8 e 12 meses de armazenamento. Com exceção dos testes de emergência e IVE, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 x 4 (dois métodos de secagem, três teores de água e quatro tempos de armazenamento), com 3 repetições, sendo cada embalagem de aproximadamente 400 g de sementes uma unidade experimental. Os testes de emergência e IVE foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3 x 3 (dois métodos de secagem, três teores de água e três tempos de armazenamento), com 3 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey, para os dois primeiros fatores, e à análise de regressão, para tempo de armazenamento, em nível de 5% de significância. A germinação das

sementes foi semelhante entre os métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento. Houve redução no vigor das sementes durante o armazenamento. Conclui-se que tanto a secagem a pleno sol em terreiro suspenso quanto a secagem por ventilação forçada à sombra não afetaram a germinação das sementes de café. Independentemente do método de secagem utilizado e do teor de água final após a secagem, a germinação das sementes permaneceu acima do valor mínimo exigido para comercialização (70%) ao longo dos doze meses de armazenamento em câmara fria, a 12 °C e umidade relativa de 60%.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Vigor. Germinação. Secagem a pleno sol. Secagem por ventilação forçada.

## ABSTRACT

The drying and storage stages are fundamental for the production and commercialization of high-quality coffee seeds. Therefore, studies aiming to understand the effects of these factors on the physiological quality and conservation of these seeds are of utmost importance. The objective of this research was to evaluate the physiological quality of coffee seeds (*Coffea arabica* L.) during storage, after being subjected to sun drying on suspended terraces and shade drying with forced ventilation, up to different moisture levels. The seeds were sun dried on suspended terraces and shade dried with forced ventilation to moisture levels of 35%, 20%, and 14%. Subsequently, they were fumigated with phosphine for 96 hours, treated with the fungicide Tecto® (1 ml kg<sup>-1</sup> of seeds), packed in sealed impermeable plastic bags (approximately 400 g of seeds per bag), and stored in a cold chamber at 12 °C and 60% relative humidity for 12 months. At 0, 4, 8, and 12 months of storage, the seed moisture content was determined, and the following physiological quality tests were performed: germination, root protrusion, seedling length, and seedling dry weight. Emergency tests and emergence speed index (ESI) were carried out at 4, 8, and 12 months of storage. Except for the emergency tests and ESI, a completely randomized design was adopted in a 2 x 3 x 4 factorial scheme (two drying methods, three moisture levels, and four storage times), with three replications, with each bag of approximately 400 g of seeds as an experimental unit. The emergency tests and ESI were conducted in a randomized complete block design, in a 2 x 3 x 3 factorial scheme (two drying methods, three moisture levels, and three storage times), with three replications. The data were subjected to analysis of variance and Tukey's test for the first two factors, and regression analysis for storage time, at a significance level of 5%. Seed germination was similar between drying methods, moisture levels, and storage times. There was a reduction in seed vigor during storage. It can be concluded that both sun drying on suspended terraces and shade drying with forced ventilation did not affect the germination of coffee seeds. Regardless of the drying method used and the final moisture content after drying, seed germination remained above the minimum value required for commercialization (70%) throughout the twelve months of storage in a cold chamber at 12 °C and 60% relative humidity.

Keywords: *Coffea arabica* L.. Vigor. Germination. Sun drying. Forced ventilation drying.

## 1. INTRODUÇÃO

O café é uma das *commodities* agrícolas mais importantes do mundo. O Brasil é o maior produtor e exportador do grão, seguido pelo Vietnã e Colômbia, respectivamente (USDA, 2022). Na safra 2022/23, foram colhidas 95 milhões de sacas de café arábica (*Coffea arabica* L.), o que corresponde a mais de 54% da produção mundial total de café (USDA, 2022). A maior produção mundial de café arábica deve-se à melhor qualidade de xícara dos grãos desta espécie em relação ao café conilon (*Coffea canefora* Pierre ex A.Froehner). Enquanto o arábica é um café de corpo leve, ácido e aromático, o conilon tem corpo cheio, maior amargor, menor aroma e acidez. Portanto, as características pouco desejáveis do café conilon faz com que ele seja menos aceito por parte dos consumidores (Velásquez e Banchón, 2022).

Ao contrário de outras espécies de café, o arábica é predominantemente autógamo (Sakiyama et al., 1999). Por esse motivo, a forma mais comum de propagação do café arábica é por meio de mudas produzidas a partir de sementes (Araujo et al., 2008; Rosa et al., 2011).

A qualidade das sementes de café arábica desempenha um papel fundamental na produção de mudas de alta qualidade. Sementes de boa qualidade apresentam menos falhas na germinação e têm potencial para produzir mudas mais vigorosas e bem desenvolvidas, o que contribui positivamente para a produtividade da cultura (Santos et al., 2013; Araujo et al., 2008).

A qualidade das sementes de café pode ser influenciada por diversos fatores, que vão desde a fase de implantação do campo de produção até a pós-colheita. Na fase de pós-colheita, as etapas de secagem e armazenamento atuam de forma mais significativa na qualidade dessas sementes. Isso porque, diferentemente das sementes ortodoxas, que toleram a secagem até baixos teores de água e sobrevivem ao estado seco por longos períodos, as sementes de café apresentam um comportamento intermediário de tolerância à dessecação e perdem viabilidade quando submetidas à secagem até baixos teores de água e/ou ao armazenamento por períodos prolongados (Dussert et al., 2018; Ellis et al., 1990; Roberts, 1972). Portanto, a maioria dos produtores optam por não secar e armazenar as sementes de café; quando o fazem, as sementes são armazenadas com um maior teor de água e por um período máximo de seis meses (Sales et al., 2003).

Na literatura, os achados sobre o teor de água adequado para armazenamento ou o tempo máximo que as sementes de café podem ser armazenadas são controversos. Pesquisadores relatam conservação de sementes armazenadas com teores de água entre 10 e 50%, por períodos de 4 a 16 meses (Penido et al., 2021; Nasiro et al., 2017; Ribeiro et al., 2016; Coelho et al., 2015; Abreu et al., 2014; Araujo et al., 2008; Vieira et al., 2007; Veiga et al., 2007; Brandão Junior et al., 2002; Gentil et al., 2001; Braccini et al., 1999). Essa variabilidade nos resultados, entre outros fatores, pode estar relacionada aos métodos de remoção de água utilizados em cada estudo. Segundo Coelho et al. (2015), a qualidade fisiológica das sementes de café é influenciada pela velocidade com que a água é retirada e pelo teor de água final das sementes. Portanto, a seleção do método de secagem adequado é uma etapa de extrema importância na pós-colheita dessas sementes.

De maneira geral, pesquisas mostraram que a secagem à sombra apresentou melhores resultados para a qualidade fisiológica das sementes de café. Vieira et al. (2007) observaram que sementes sem secagem e secas à sombra até um teor de água de 12% podem ser armazenadas por até nove meses em condições de armazenamento refrigerado (10 °C e 50% de umidade relativa), e que as sementes secas em estufa com circulação forçada de ar a 35 °C perdem a viabilidade quando armazenadas nas mesmas condições. Abreu et al. (2014) também verificaram que a secagem à sombra proporcionou maior qualidade fisiológica e tempo de conservação para sementes de café arábica secas até o teor de água de 20%, em relação à secagem em secador mecânico com ar aquecido a 35 °C.

A melhor qualidade das sementes de café secas à sombra pode estar relacionada à taxa de secagem, que é a quantidade de água removida por unidade de tempo. Em comparação com a secagem à sombra, a secagem com ar aquecido tem uma maior taxa de secagem, causando danos ao sistema de membrana celular da semente e aumento do estresse oxidativo (Abreu et al., 2014; Santos et al., 2013).

Embora pesquisas indiquem que a secagem à sombra favorece a manutenção da qualidade fisiológica das sementes de café armazenadas, esse método apresenta a desvantagem de exigir maior tempo de secagem. Tempos de secagem mais longos expõem as sementes a oscilações de temperatura e umidade relativa do ar ambiente por vários dias, favorecendo a deterioração e proliferação de patógenos. Nesse

contexto, são necessárias pesquisas de métodos de secagem com taxas que minimizem a ocorrência de danos às sementes e reduzam o tempo de processo.

Métodos com taxa de secagem intermediária como a secagem a pleno sol em terreiro suspenso e a secagem por ventilação forçada à sombra podem ser uma alternativa para superar os efeitos negativos da secagem muito rápida ou lenta na qualidade das sementes de café.

No método de secagem a pleno sol em terreiro suspenso, as sementes são dispostas em camada fina sobre telas suspensas, e são secas por exposição direta ao sol, sob ventilação natural. Este sistema tem como principal vantagem a economia de energia, pois a fonte de calor para aquecimento do ar é o sol e a ventilação natural é o meio que remove a água evaporada (Silva et al., 2008). As taxas de secagem desse método dependem das condições climáticas. Em dias ensolarados, com temperatura mais alta e umidade relativa do ar mais baixa, as sementes perderão água mais rapidamente.

No método de secagem por ventilação forçada à sombra, as sementes são mantidas em ambiente protegido do sol, no qual um fluxo de ar a temperatura ambiente é movido por um ventilador axial através da massa de sementes (Silva et al., 2008). A renovação constante do ar ao redor das sementes reduz a umidade relativa e aumenta o gradiente de pressão parcial de vapor d'água entre o ar e a superfície do produto, aumentando a taxa de secagem.

Comparando-se com a secagem à sombra, tanto as sementes secas por ventilação forçada à sombra, quanto aquelas secas a pleno sol em terreiro suspenso, perderão água a uma taxa mais elevada. Este fato pode ser vantajoso para a qualidade das sementes, pois levará à redução do tempo total de secagem e, conseqüentemente, à redução do tempo de exposição das sementes à alternância das condições ambientais e ao ataque de pragas e patógenos. Por outro lado, quando comparados à secagem com ar aquecido, esses métodos apresentam uma taxa de secagem mais lenta, o que pode minimizar a ocorrência de danos às membranas celulares com a rápida retirada de água do produto e garantir maior qualidade e tempo de conservação.

Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento por doze meses, após

terem sido submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação à sombra, até diferentes teores de água.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Delineamento experimental**

Exceto pelos testes de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE), o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (2 x 3 x 4), sendo dois métodos de secagem (secagem a pleno sol em terreiro suspenso e secagem por ventilação forçada à sombra), três teores de água (35, 20 e 14%), e quatro épocas de armazenamento (0, 4, 8 e 12 meses), com três repetições, totalizando 72 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por uma embalagem plástica contendo aproximadamente 400 g de sementes. Os testes de emergência de plântulas e índice de velocidade de emergência (IVE) foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (2 x 3 x 3), sendo dois métodos de secagem (secagem a pleno sol em terreiro suspenso e secagem por ventilação forçada à sombra), três teores de água (35, 20 e 14%), e três épocas de armazenamento (4, 8 e 12 meses), com três repetições, totalizando 54 unidades experimentais.

### **2.2 Obtenção das sementes**

As sementes de café arábica (*Coffea arabica* L.), cultivar Paraíso MG H 419-1, foram obtidas de campo de produção de sementes inscrito no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), localizado no município de Paula Cândido, no estado de Minas Gerais (42° 54' 56,7" W e 20° 49' 46,3" S). Os frutos foram colhidos em julho de 2021, quando atingiram o estágio de maturação cereja, o qual é caracterizado pelo amadurecimento completo dos frutos. Para a extração das sementes, os frutos foram selecionados e submetidos a um processo de despulpamento mecânico, seguido de fermentação natural, por 12 h. Em seguida, as

sementes foram lavadas em água corrente até que toda a mucilagem fosse removida por completo, e então foram encaminhadas para o processo de secagem.

### **2.3 Determinação do teor de água inicial**

Antes da secagem, o teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa, a  $105\pm 3$  °C, por 24 h (BRASIL, 2009). A determinação foi realizada em triplicata, utilizando-se subamostras de 25 sementes. O resultado foi expresso em porcentagem.

### **2.4 Secagem e armazenamento**

A secagem das sementes foi realizada no setor de secagem e armazenamento de produtos agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. As sementes foram submetidas aos seguintes métodos de secagem:

1. Secagem a pleno sol em terreiro suspenso: as sementes foram dispostas em camada fina sobre uma tela de malha tipo sombrite 50%, sustentada por uma estrutura de madeira (terreiro suspenso), e secas a pleno sol, até atingirem teores de água de aproximadamente 35, 20 e 14% (Figura 1 A). Durante a secagem, as sementes foram revolvidas a cada 30 min.
2. Secagem por ventilação forçada à sombra: as sementes foram acondicionadas em redes plásticas de polietileno, e dispostas sobre uma chapa de aço com 20% de perfuração, a qual recobre um túnel de ventilação em alvenaria, de 4 m, de um terreiro híbrido com cobertura permanente para a secagem de café. As sementes foram secas utilizando ar à temperatura ambiente, movimentado por um ventilador axial, com velocidade de  $1 \text{ m s}^{-1}$ , conectado ao túnel de ventilação do terreiro (Figura 1B).



Figura 1- Sementes de café submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso (A) e à secagem por ventilação forçada à sombra (B).

Para acompanhar a redução do teor de água das sementes durante a secagem, amostras foram pesadas a cada 3 h em uma balança com precisão de 0,001 g até que atingissem a massa correspondente aos teores de água aproximados de 35, 20 e 14%. As pesagens foram realizadas em triplicata. A massa final foi calculada usando a Equação 1.

$$mf = mi \cdot \frac{(1 - xi)}{(1 - xf)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

*mf*- massa final das sementes secas (g);

*mi*- massa inicial das sementes (g);

*xi*- teor de água inicial das sementes;

*xf*- teor de água final das sementes.

O período diário de secagem foi das 9h às 15h. Após esse período, o sistema de ventilação do terreiro híbrido foi desligado e o terreiro suspenso foi transferido para um local coberto, retomando o processo no dia seguinte. Durante a secagem, a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas usando um termo-higrômetro digital e registradas.

À medida que os teores de água pré-definidos foram sendo atingidos, amostras das sementes foram coletadas e submetidas ao expurgo com fosfeto de alumínio por 96 h, para o controle da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). Em seguida, as sementes foram colocadas em sacos de polietileno lacrado (espessura de 0,12 mm) e temporariamente armazenadas em uma demanda bioquímica de oxigênio (BOD) a uma temperatura de 12 °C, até o término da secagem e expurgo de todos os tratamentos.

Antes do armazenamento, as sementes passaram por um processo de catação manual para retirar as sementes danificadas por broca-do-café, sementes sem pergaminho e outras impurezas. Em seguida, foram tratadas com o fungicida Tecto® SC. (485 g L<sup>-1</sup> tiabendazol), na concentração de 1 ml kg<sup>-1</sup> de semente. Posteriormente, os tratamentos foram divididos em três partes iguais para cada período de armazenamento. Para o armazenamento, as sementes foram acondicionadas em embalagens de polietileno lacradas (espessura de 0,12 mm), com aproximadamente 400 g de sementes/embalagem. As sementes foram armazenadas em uma câmara climatizada, mantida a uma temperatura de 12 °C e uma umidade relativa de 60%, pelo período de 0, 4, 8 e 12 meses.

## **2.5 Determinação do teor de água e análises da qualidade fisiológica**

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes foi realizada no Laboratório de Pesquisa de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. No início do armazenamento (0) e após 4, 8 e 12 meses, foram realizados os seguintes testes e determinações:

- a) Teor de água: foi determinado pelo método da estufa, a  $105\pm 3$  °C, por 24 h (BRASIL, 2009). Foram utilizadas três subamostras de 25 sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem.
- b) Teste de germinação: quatro subamostras de 50 sementes foram retiradas aleatoriamente de cada unidade experimental e semeadas sem o pergaminho (endocarpo) em três folhas de rolos de papel germitest, umedecidas com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. Durante a montagem do teste, as sementes foram tratadas com o fungicida Captan®, na dose de 4 mL L<sup>-1</sup> de água. Os rolos de papel germitest foram mantidos em câmara de germinação, a uma temperatura constante de 30 °C. A avaliação foi realizada 30 dias após a semeadura, contando-se o número de plântulas normais, conforme determina a Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Foram consideradas normais as plântulas que apresentaram protrusão da raiz primária e pelo menos três raízes secundárias. Os resultados foram expressos em porcentagem.
- c) Protrusão radicular: no teste de germinação, aos 15 dias após a semeadura, foram contadas as sementes que apresentaram a emissão da radícula. Os resultados foram expressos em porcentagem.
- d) Comprimento de plântulas: quatro subamostras de 20 sementes foram retiradas aleatoriamente de cada unidade experimental e semeadas sem o pergaminho em duas fileiras ao longo da parte superior de três folhas de papel germitest. O substrato foi umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. Durante a montagem do teste, as sementes foram tratadas com o fungicida Captan®, na dose de 4 mL L<sup>-1</sup> de água. Os rolos de papel germitest foram mantidos em câmara de germinação, regulada à temperatura constante de 30 °C, por um período de 30 dias. No trigésimo dia após a semeadura, as plântulas normais foram colocadas sobre uma folha de Etileno Vinil Acetato (EVA), na cor azul, ao lado de uma régua milimetrada, e fotografadas por uma câmera digital fixada em um suporte, mantendo fixa a altura entre a câmera e a folha de EVA para todas as fotografias. As imagens obtidas foram analisadas no programa ImageJ®. A

calibração do software para conversão de pixels para cm foi realizada manualmente. Mediu-se a distância em pixels, que correspondia a 1 cm na imagem da régua milimetrada colocada sobre o EVA. A medição do comprimento da plântula também foi realizada manualmente, contornando o eixo hipocótilo-raiz (distância entre a ponta da raiz primária e a região de inserção do cotilédone) com uma linha segmentada. Foi considerado o comprimento das plântulas a soma da distância dos segmentos de linha, em pixels, convertida para cm. O resultado foi obtido dividindo-se o somatório das medidas registradas pelo número de plântulas normais em cada subamostra ( $\text{cm. plântula}^{-1}$ ).

- e) Massa de matéria seca de plântulas: após serem fotografadas para análises de comprimento, com auxílio de uma lâmina, as plântulas normais de cada subamostra tiveram o eixo hipocótilo-raiz separado dos cotilédones. Os cotilédones foram descartados e os eixos hipocótilo-raiz foram colocados em latas de alumínio e levados à estufa com circulação forçada de ar, a  $80 \pm 2$  °C, por 24 h. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica com precisão de 0,001 g e o resultado foi expresso em  $\text{mg. plântula}^{-1}$  (Krzyzanowski et al., 2020).
- f) Emergência de plântulas: quatro subamostras de 50 sementes foram retiradas aleatoriamente de cada unidade experimental e semeadas sem o pergaminho a 3 cm de profundidade em bandejas de isopor contendo areia peneirada e autoclavada. As bandejas foram dispostas sobre prateleiras de uma estante em sala climatizada ajustada para 30 °C. O ajuste da temperatura da sala não forneceu uma temperatura uniforme em todas as prateleiras. Para evitar que essa variabilidade afetasse os resultados, o teste foi montado em delineamento em blocos casualizados, considerando-se uma prateleira como um bloco. Foram utilizadas 3 prateleiras (blocos) onde foram dispostas aleatoriamente uma bandeja de cada tratamento. As temperaturas alcançadas em cada prateleira foram de aproximadamente 30, 26 e 24 °C. A irrigação foi realizada a cada 2 dias com pulverizador. As plântulas emergidas foram contadas a cada dois dias até a estabilização da emergência. Foram consideradas emergidas

as plântulas que apresentaram cotilédones acima da superfície do substrato. Os resultados consistiram do somatório das plântulas emergidas até a estabilização, sendo expressos em porcentagem.

- g) Índice de velocidade de emergência (IVE): foi realizado em conjunto com o teste de emergência. Foram computadas as plântulas emergidas a cada dois dias até a estabilização da emergência das plântulas. O índice de velocidade de emergência foi calculado utilizando a fórmula descrita na equação 2, proposta por Magüire (1962).

$$IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots En/Nn \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

*IVE = índice de velocidade de emergência;*

*N1 = número de plântulas emergidas na primeira contagem;*

*E1 = número de dias para a primeira contagem;*

*Nn = número de plântulas emergidas na última contagem;*

*En = número de dias para a última contagem.*

## **2.6 Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em nível de 5% de significância. As médias dos fatores qualitativos (métodos de secagem e teor de água) foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância. Os dados referentes ao fator quantitativo (tempo de armazenamento) foram submetidos à análise de regressão. Todas as análises foram realizadas utilizando o software SAS versão 9.4 (SAS, 2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Secagem

O teor de água das sementes de café antes da secagem foi de 46,9%. Ao considerar apenas o tempo em que as sementes foram expostas às condições de secagem (tempo efetivo), observou-se que a secagem a pleno sol reduziu o teor de água das sementes para aproximadamente 35, 20 e 14%, em 18, 37 e 48 h, respectivamente; quando secas por ventilação forçada, o tempo efetivo para as sementes atingirem esses mesmos teores de água foi de 27, 63 e 87 h, respectivamente (Figura 2A). O tempo total de secagem, considerando também o período noturno, para as sementes atingirem os teores de água de aproximadamente 35, 20 e 14%, foi de 69, 144 e 192 h, para secagem a pleno sol, e de 99, 243, 339 h, para a secagem por ventilação forçada (Figura 2B).

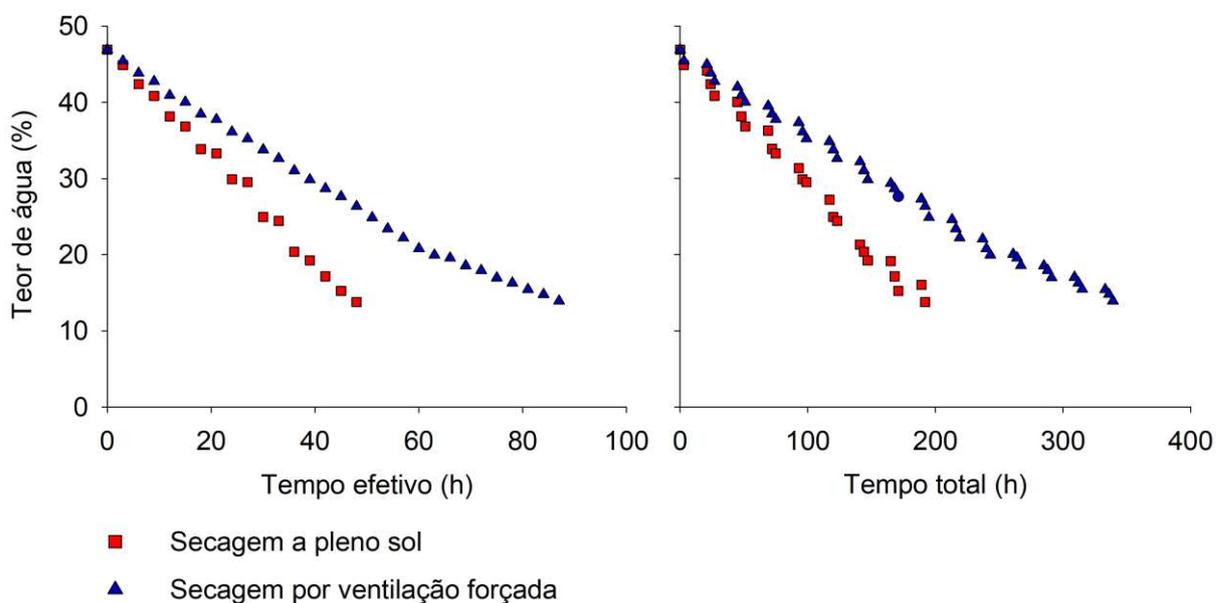


Figura 2- Teor de água de sementes de café submetidas à secagem a pleno sol e à secagem por ventilação forçada.

O menor tempo de secagem das sementes submetidas à secagem a pleno sol deve-se à maior taxa de secagem desse método em relação à secagem por ventilação forçada (Figura 3). Este fato é explicado pela maior temperatura média e menor umidade relativa do ambiente durante o período de secagem a pleno sol (Figura 4). Altas temperaturas e baixa umidade relativa aumentam a diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do produto, resultando em uma perda de água mais rápida.

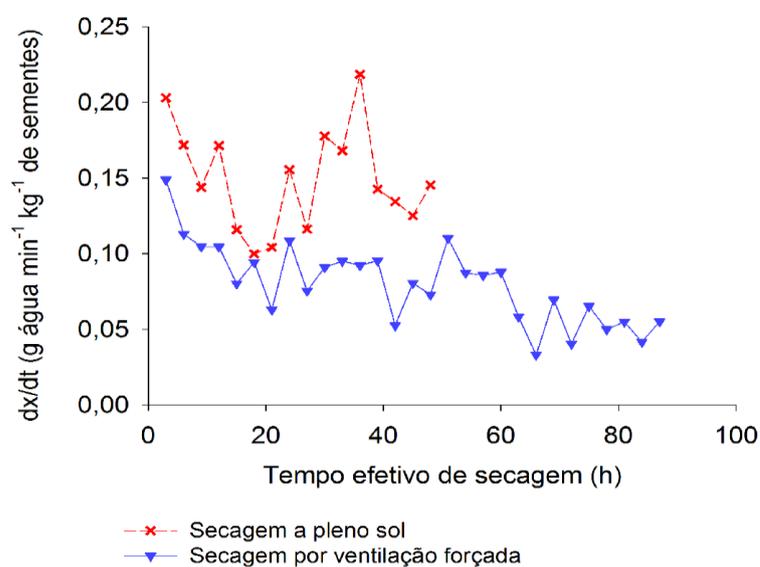


Figura 3- Taxa de secagem para sementes de café submetidas à secagem a pleno sol e à secagem por ventilação forçada.

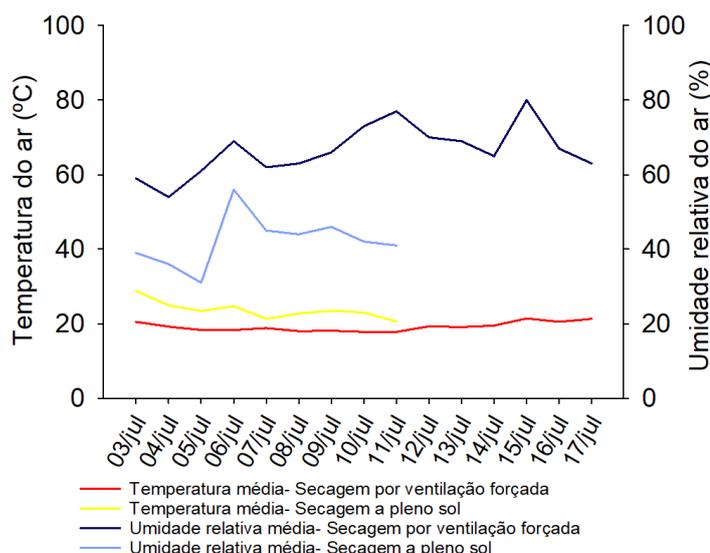


Figura 4- Temperatura e umidade relativa média durante o período diário de secagem.

Ao analisar a taxa de secagem durante o processo de secagem por ventilação forçada, observou-se que ela diminui à medida que as sementes perderam água (Figura 3). Os materiais vegetais são compostos de dois tipos de água: água livre (água que reside no espaço intercelular) e água ligada (água intracelular ligada a componentes e estruturas celulares e água ligada à parede celular) (Khan et al., 2017; Khan et al., 2016; Kumar et al. 2015). No início da secagem, a água livre presente nos espaços intercelulares é facilmente removida, resultando em altas taxas de secagem. À medida que a secagem avança, aumenta a proporção de água ligada em relação à água livre, tornando a remoção da água mais difícil (Alves et al., 2017; Khan et al., 2017).

Para secagem a pleno sol também foi observada redução na taxa de secagem com a diminuição do teor de água das sementes, embora em alguns momentos tenha ocorrido aumento dessa taxa (Figura 3). Este fato é explicado pela maior variação nas condições de temperatura e umidade relativa neste ambiente de secagem (Figura 4).

### 3.2 Teor de água

Os teores de água determinados antes (zero) e durante o armazenamento (4, 8 e 12 meses) apresentaram variação dos teores de água obtidos logo após a secagem das sementes (Tabela 1). Essas diferenças são atribuídas à perda ou ganho de umidade durante as etapas de expurgo, catação manual de sementes brocadas e tratamento com fungicida. Devido à sua higroscopicidade, as sementes são propensas à troca de umidade com o ar circundante (Strelec et al., 2010). Apesar disso, os teores de água permaneceram próximos aos teores de água final após a secagem.

Tabela 1- Teor de água (%) após a secagem e durante o armazenamento de sementes de café, de acordo com o método de secagem.

Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)	Tempo de armazenamento (meses)				Médias
		0	4	8	12	
Pleno sol	35,1	31,7	31,9	30,9	31,1	31,4
	20,4	17,6	17,6	16,5	17,0	17,2
	13,7	14,3	14,4	13,8	14,1	14,2
Ventilação forçada	35,2	32,6	32,3	31,5	31,3	31,9
	20,0	20,3	19,2	18,8	19,1	19,4
	13,9	16,0	15,5	14,7	15,1	15,3

Houve pouca variação no teor de água das sementes durante o armazenamento (Tabela 1). Este fato é explicado pelo acondicionamento das sementes em embalagem de polietileno impermeável e lacrada. O acondicionamento em embalagem impermeável ou herméticas evita que as sementes entrem em contato com o ar do ambiente externo, mantendo seu teor de água constante, mesmo com oscilações na umidade relativa do ambiente de armazenamento (Baudet, 2003;

Bakhtavar et al., 2019). A manutenção do teor de água das sementes durante o período de armazenamento garante maior confiabilidade na comparação dos resultados dos testes de qualidade fisiológica. Gentil et al. (2001) e Vieira et al. (2007) também observaram pouca variação no teor de água de sementes de café arábica durante o armazenamento quando acondicionadas em embalagem impermeável ou hermética.

### **3.3 Análises da qualidade fisiológica**

#### **3.3.1 Germinação**

A análise de variância (ANOVA) revelou que não houve interação entre os fatores investigados (método de secagem, teor de água e tempo de armazenamento), bem como ausência de efeito significativo desses fatores na germinação das sementes ( $p > 0,01$ ). As médias estimadas gerais para os métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento variaram de 76 a 79% (Tabela 2). O percentual de germinação mínimo exigido para a comercialização de sementes de café no Brasil é de 70% (Instrução Normativa MAPA Nº 35, de 29 de novembro de 2012). Portanto, independente do teor de água e método de secagem utilizados nesta pesquisa, as sementes permaneceram com germinação acima do mínimo exigido para comercialização durante os doze meses de armazenamento em câmara fria a 12 °C e umidade relativa de 60%.

Tabela 2- Germinação (%) de sementes de café, de acordo com o método de secagem, o teor de água final após a secagem e o tempo de armazenamento.

Tempo de armazenamento (meses)	Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)			Médias
		35	20	14	
0	Pleno sol	79	81	80	79
	Ventilação forçada	77	79	77	
4	Pleno sol	81	79	80	79
	Ventilação forçada	76	80	77	
8	Pleno sol	79	77	80	79
	Ventilação forçada	76	80	80	
12	Pleno sol	79	68	76	76
	Ventilação forçada	75	82	73	
Médias		78	78	78	
CV (%)	6,23				

Esse resultado foi satisfatório e mostra que, para conservação por doze meses em câmara fria a 12 °C e umidade relativa de 60%, as sementes de café arábica podem ser secas tanto a pleno sol, quanto por ventilação forçada, até teores de água de 35, 20 e 14%.

A ausência de efeito significativo dos métodos de secagem na qualidade das sementes de café durante o armazenamento pode ser atribuída à taxa de secagem. Apesar da maior taxa de secagem observada para o método de secagem a pleno sol em relação à secagem por ventilação forçada (Figura 3), quando comparados com os métodos de secagem à sombra (lento) ou com ar aquecido (rápido), ambos apresentam uma perda de água em velocidade intermediária.

Pesquisas mostraram que a secagem rápida (ar aquecido a 35 °C) é mais prejudicial para a manutenção do potencial germinativo das sementes de café arábica durante o armazenamento em comparação com a secagem lenta (à sombra) (Vieira et al. 2007; Abreu et al., 2014). Segundo Santos et al. (2013) a redução da qualidade fisiológica de sementes de café submetidas à secagem rápida deve-se aos danos

causados ao sistema de membrana celular devido à rápida remoção do conteúdo de água. No entanto, ao comparar o efeito das taxas de secagem rápida (secador estático à 30 °C), lenta (sombra) e intermediária (solução salina de MgCl<sub>2</sub>, 33% de umidade relativa) na viabilidade de sementes de *Coffea canephora*, Rosa et al. (2005) observaram que tanto a secagem rápida quanto a secagem lenta foram prejudiciais à qualidade das sementes durante o armazenamento. Os resultados do estudo mostraram que as sementes secas em taxa intermediária e armazenadas a 10 °C tiveram melhor desempenho fisiológico, após quatro meses de armazenamento, em comparação às sementes secas em taxa rápida ou lenta. Segundo os autores, a melhor preservação da qualidade das sementes de café secas em velocidade intermediária em relação à secagem lenta pode ser explicada pelo maior tempo que as sementes permanecem em um nível alto de hidratação durante a secagem lenta, favorecendo a respiração e a produção de substâncias tóxicas.

Embora o estudo supracitado tenha sido conduzido com *C. canephora*, uma espécie de sementes com menor tolerância à dessecação e potencial de armazenamento do que *C. arabica*, o resultado indica que os métodos de secagem com taxa intermediária afetam menos a qualidade das sementes de café durante o armazenamento, confirmando os resultados deste estudo.

Quanto ao teor de água e tempo de armazenamento, ao contrário do que foi observado neste estudo, alguns pesquisadores encontraram efeito significativo desses fatores na germinação de sementes de café arábica, porém, os resultados são contraditórios.

Silva e Dias (1985), estudando o efeito do teor de água na qualidade fisiológica de sementes de café arábica durante o armazenamento (ambientes com temperatura de 18 e 21 °C), verificaram que sementes com teor de água entre 36% e 40% foram as que melhor mantiveram a qualidade fisiológica. Penido et al. (2021) também observaram que o armazenamento de sementes de cinco cultivares de café arábica (Catuaí Vermelho IAC 144, Mundo Novo IAC 376/4, Catiguá MG2, MGS Aranãs e Topázio MG 1190) com teor de água de 40%, e em câmara fria a 10 °C, mantém a qualidade fisiológica por até nove meses.

Por outro lado, Gentil et al. (2001) observaram que a secagem até um menor teor de água (10%) preservou a qualidade fisiológica das sementes de café arábica por 48 semanas, quando embaladas em sacos de polietileno e armazenadas a uma

temperatura de 10 °C. Brandão Junior et al. (2002) também relataram que sementes de café arábica secas até um menor teor de água (aproximadamente 15%) e armazenadas em uma câmara fria a 10 °C e 50% de umidade relativa, mantiveram a qualidade fisiológica satisfatória por nove meses.

Em contraste com os resultados de Silva e Dias (1985), Penido et al. (2021), Gentil et al. (2001) e Brandão Junior et al. (2002), Araújo et al. (2008) constataram que sementes de café arábica conservam sua capacidade de germinação por até nove meses quando armazenadas com teor de água intermediário (18,5%) e em baixa temperatura (7 °C). Resultados semelhantes foram relatados por Abreu et al. (2014) e Nasiro et al. (2017) que também verificaram que sementes de café com teor de água intermediário (17-22%) mantiveram melhor qualidade fisiológica após doze e seis meses de armazenamento, em baixa temperatura (10 °C), respectivamente.

As diferenças nos resultados obtidos nesses estudos podem estar relacionadas aos métodos de secagem utilizados. Nesta pesquisa, a secagem das sementes foi realizada por métodos com taxa de secagem intermediária, enquanto Silva e Dias (1985), Gentil et al. (2001), Penido et al. (2021), Nasiro et al., (2017) realizaram uma secagem mais lenta (à sombra). Por outro lado, Brandão Júnior et al. (2002) secaram as sementes em estufa com circulação forçada de ar a 35 °C, método com taxa de secagem mais rápida, enquanto Abreu et al. (2014) utilizaram métodos de secagem com taxa lenta (à sombra) e taxa rápida (secador mecânico a 30 °C), e Araujo et al. (2008), secagem lenta (à sombra) com secagem complementar mais rápida (estufa com circulação forçada de ar até 38 °C).

Portanto, considerando a ampla variedade de métodos de secagem utilizados nos estudos mencionados, acredita-se que a velocidade de secagem tenha um impacto significativo no teor de água tolerado e no tempo de armazenamento das sementes de café.

### 3.3.2 Protrusão radicular

Houve interação tripla significativa entre os fatores métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento sobre a protrusão radicular das sementes de café ( $p < 0,05$ ).

Comparando-se a porcentagem de protrusão radicular entre os teores de água, dentro de cada método de secagem e tempo de armazenamento, pode-se observar que, para as sementes sem armazenamento (zero) e armazenadas por quatro meses, não houve diferença para nenhum dos métodos de secagem (Tabela 3). Aos oito meses, diferença significativa foi observada apenas para a secagem a pleno sol. Para este método de secagem, a porcentagem de protrusão radicular para sementes secas até o teor de água de 20% foi menor em comparação as sementes secas até os teores de água de 35 e 14% (Tabela 3). Aos doze meses, foram observadas diferenças significativas entre os teores de água para os dois métodos de secagem, porém, os resultados foram divergentes. Para a secagem a pleno sol, a porcentagem de protrusão radicular foi menor para sementes secas até o teor de água de 20% em relação às sementes secas até os teores de água de 35 e 14%. Em contraste, para a secagem por ventilação forçada, o menor percentual de protrusão radicular foi obtido para sementes secas até os teores de água de 35 e 14%, e o maior para sementes secas até o teor de água de 20% (Tabela 3).

Ao comparar a porcentagem de protrusão radicular entre os métodos de secagem para cada teor de água e tempo de armazenamento, observa-se que também não houve diferença para as sementes não armazenadas (zero) e armazenadas por quatro meses (Tabela 3). Aos oito meses, diferença significativa foi observada apenas para o teor de água de 20%, no qual se obteve menor percentual de protrusão radicular para sementes secas a pleno sol em relação às sementes secas por ventilação forçada (Tabela 3). Aos doze meses, houve diferença entre os métodos de secagem para os teores de água de 20 e 14%. Para o teor de água de 20%, as sementes secas a pleno sol tiveram menor percentual de protrusão radicular em comparação às sementes secas por ventilação forçada; enquanto para o teor de água de 14%, o menor percentual de protrusão radicular foi obtido para as sementes secas por ventilação forçada em comparação às sementes secas a pleno sol (Tabela 3).

Tabela 3- Protrusão radicular (%) de sementes de café, de acordo com o método de secagem, teor de água final após a secagem e tempo de armazenamento.

Tempo de armazenamento (meses)	Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)		
		35	20	14
0	Pleno sol	95 a <b>A</b>	96 a <b>A</b>	93 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	95 a <b>A</b>	95 a <b>A</b>	93 a <b>A</b>
4	Pleno sol	92 a <b>A</b>	94 a <b>A</b>	95 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	95 a <b>A</b>	94 a <b>A</b>	94 a <b>A</b>
8	Pleno sol	90 a <b>A</b>	79 b <b>B</b>	91 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	88 a <b>A</b>	88 a <b>A</b>	90 a <b>A</b>
12	Pleno sol	88 a <b>A</b>	76 b <b>B</b>	86 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	85 a <b>B</b>	92 a <b>A</b>	82 b <b>B</b>
CV (%)	2,33			

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, **maiúscula nas linhas** e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

As diferenças observadas entre as combinações de tratamento nos resultados dos percentuais de protrusão radicular aos oito e doze meses de armazenamento foram inconsistentes. Não foi possível encontrar uma explicação clara para essas variações.

O efeito do tempo de armazenamento sobre a porcentagem de protrusão radicular das sementes é mostrado na Figura 5. Para as sementes submetidas à secagem a pleno sol até o teor de água de 20%, ajustou-se o modelo para efeito linear decrescente, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 95,29%. Para os demais tratamentos, os coeficientes das equações não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ), portanto, um único modelo para efeito linear decrescente foi ajustado, com  $r^2$  de 96,40%.

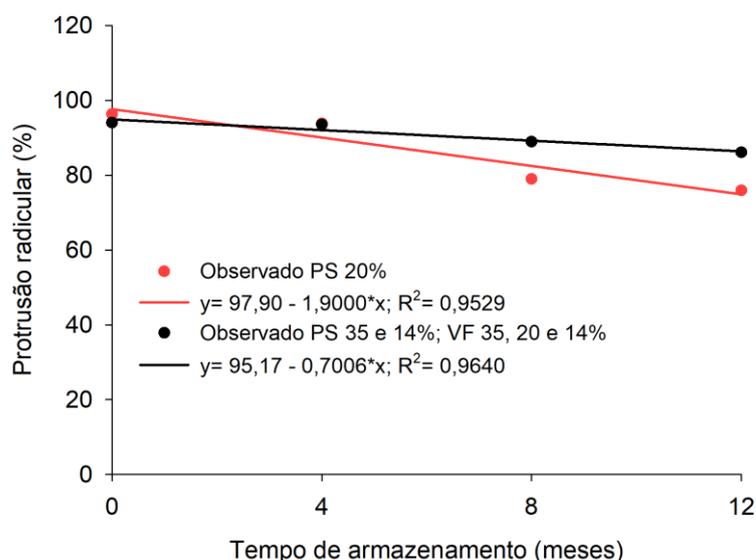


Figura 5- Protrusão radicular (%) de sementes de café, de acordo com o método de secagem e o teor de água final após a secagem, em função do tempo de armazenamento.

PS: Pleno sol; VF: Ventilação forçada. \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Houve redução linear da porcentagem de protrusão radicular, com o aumento do tempo de armazenamento das sementes para todos os tratamentos, sendo essa redução mais acentuada para as sementes submetidas à secagem a pleno sol até o teor de água de 20% (Figura 5). Não foram encontradas justificativas para a maior redução da porcentagem de protrusão radicular para as sementes submetidas à secagem a pleno sol até o teor de água de 20% em relação aos demais tratamentos.

A redução no percentual de protrusão radicular de sementes de café arábica armazenadas também foi observada por outros pesquisadores (Abreu et al., 2014; Brandão Junior et al., 2002) e indica que o armazenamento reduz o vigor dessas sementes, resultando em um atraso na emissão da radícula durante a germinação. Segundo Eira et al. (2006), a emissão da radícula durante a germinação das sementes de café ocorre como resultado do crescimento e expansão das células do eixo embrionário, em paralelo à diminuição da resistência mecânica do endosperma, devido à ação de enzimas, como a endo- $\beta$ -mananase e a celulase, que degradam as paredes celulares deste tecido. Portanto, levanta-se a hipótese de que o aumento do

tempo de armazenamento das sementes resulta na redução da atividade dessas enzimas, o que demanda um tempo maior para que a radícula supere a resistência mecânica do endosperma durante a germinação.

É importante ressaltar que, apesar da diminuição do percentual de protrusão radicular durante o armazenamento, indicando a redução do vigor, a taxa de germinação das sementes permaneceu constante durante os doze meses de armazenamento (Tabela 2). Segundo Bernal-Lugo e Leopoldo (1992), a deterioração da qualidade das sementes armazenadas se manifesta inicialmente através da diminuição do vigor e, posteriormente, pela perda de viabilidade.

### **3.3.3 Comprimento de plântulas**

Não houve interação significativa entre métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ) e nem efeito significativo dos métodos de secagem sobre o comprimento das plântulas de café ( $p > 0,05$ ). Apenas efeitos independentes do teor de água e do tempo de armazenamento foram encontrados para esta variável ( $p < 0,05$ ). As plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 35% apresentaram maior comprimento, em comparação com as plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 20% (Tabela 4). Esse resultado mostra que as sementes secas até o teor de água de 35% apresentaram maior vigor em relação às sementes secas até o teor de água de 20%. Gentil et al. (2001) também observaram maior comprimento de plântulas para sementes de café arábica secas e armazenadas com teores de água mais elevados (34 e 41%).

Tabela 4- Comprimento de plântulas de café (cm pl<sup>-1</sup>), de acordo com o teor de água final após a secagem das sementes.

Teor de água após a secagem (%)	Comprimento de plântulas (cm pl <sup>-1</sup> )
35	6,73 a
20	6,29 b
14	6,45 ab
CV(%)	7,70

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); CV: coeficiente de variação.

A análise de regressão para o efeito do tempo de armazenamento das sementes sobre o comprimento das plântulas de café ajustou o modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 62,09%, indicando que o comprimento das plântulas diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento (Figura 6). A redução no comprimento das plântulas obtidas das sementes de café arábica armazenadas ocorreu devido à queda do vigor e também foi observada por Gentil et al. (2001).

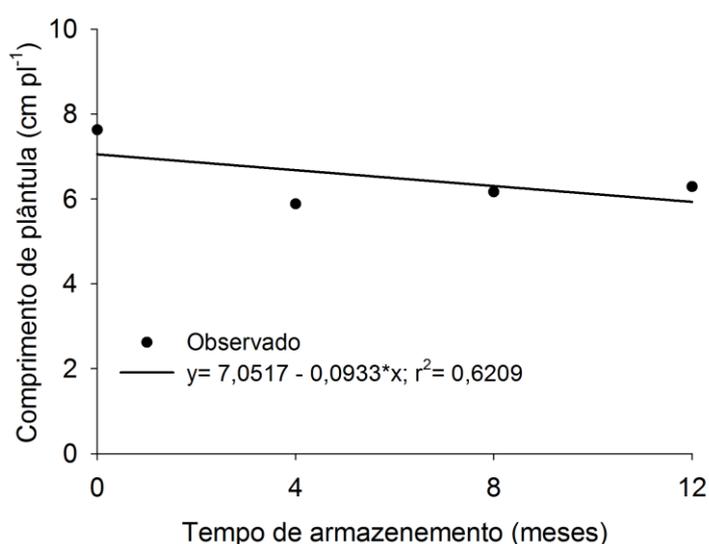


Figura 6- Comprimento de plântulas de café (cm pl<sup>-1</sup>), em função do tempo de armazenamento das sementes.

\*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

### 3.3.4 Massa de matéria seca de plântulas

Assim como para o comprimento de plântulas, não houve interação significativa entre métodos de secagem, teores de água e tempo de armazenamento sobre a massa de matéria seca das plântulas ( $p > 0,05$ ). Também não houve efeito significativo dos métodos de secagem sobre essa variável ( $p > 0,05$ ). Apenas o teor de água e o tempo de armazenamento tiveram efeitos independentes sobre a massa de matéria seca das plântulas ( $p < 0,05$ ). As plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 14% apresentaram maior massa de matéria seca em relação às plântulas oriundas de sementes secas até os teores de água de 35 e 20% (Tabela 5).

Tabela 5- Massa de matéria seca de plântula de café ( $\text{mg pl}^{-1}$ ), de acordo com o teor de água final após a secagem das sementes.

Teor de água após a secagem (%)	Massa de matéria seca de plântula ( $\text{mg pl}^{-1}$ )
35	20,75 b
20	20,55 b
14	21,36 a
CV(%)	3,77

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); CV: coeficiente de variação.

Em geral, espera-se que sementes mais vigorosas produzam plântulas com maior massa de matéria seca. No entanto, nesta pesquisa, a maior massa de matéria seca obtida para as plântulas oriundas de sementes secas até os teores de água de 14% pode não indicar maior vigor. Embora o comprimento do sistema radicular das plântulas não tenha sido mensurado, foi possível observar visualmente que as plântulas obtidas de sementes secas até o teor de água de 14% apresentaram menor comprimento de raiz principal e as raízes laterais mais espessas, o que pode explicar a maior massa de matéria seca para essas plântulas.

Para o efeito do tempo de armazenamento na massa de matéria seca das plântulas, ajustou-se o modelo para efeito linear crescente, com  $r^2$  de 82,25%, mostrando o aumento na massa de matéria seca das plântulas durante o armazenamento das sementes de café (Figura 7).

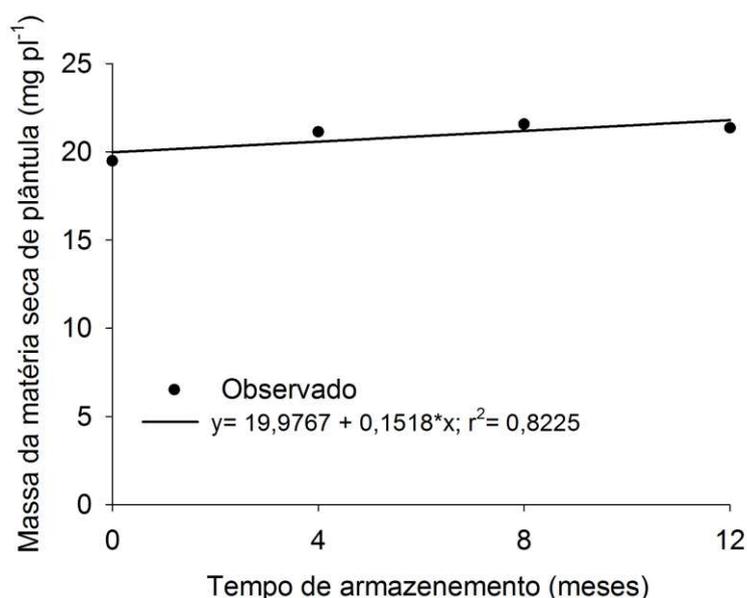


Figura 7- Massa de matéria seca de plântulas de café ( $\text{mg pl}^{-1}$ ), em função do tempo de armazenamento das sementes.

\*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Conforme discutido anteriormente para o teor de água, o aumento da massa de matéria seca das plântulas de café oriundas de sementes armazenadas também pode estar relacionado à redução do comprimento da raiz principal em paralelo ao maior espessamento das raízes laterais das plântulas. Esse fato indica a redução no vigor das sementes com o aumento do tempo de armazenamento. Na Figura 8 pode-se observar o menor comprimento da raiz principal e o maior espessamento das raízes laterais em plântulas obtidas das sementes de café armazenadas por doze meses (8B) em comparação com plântulas obtidas das sementes de café não armazenadas (8A).

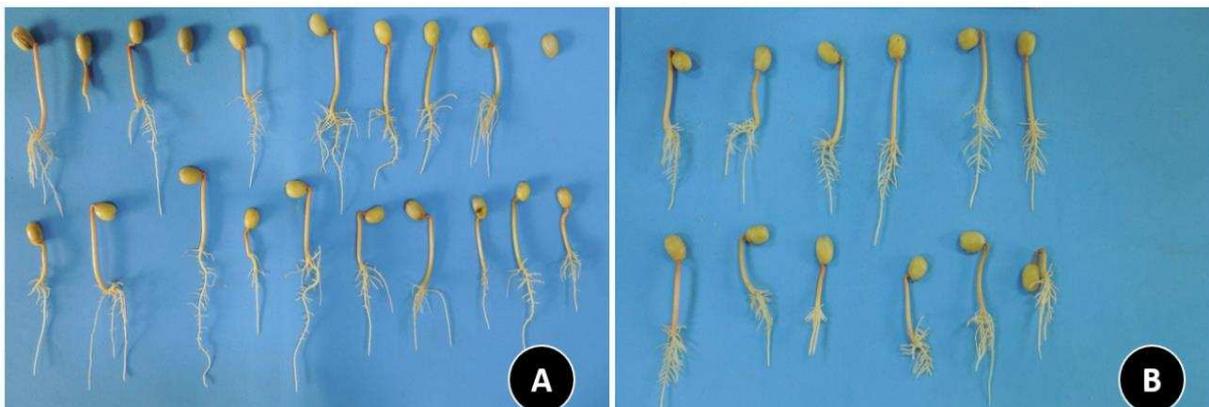


Figura 8- Plântulas de café provenientes de sementes não armazenadas (A) e após 12 meses de armazenamento (B), observadas 30 dias após a semeadura.

### 3.3.5 Emergência de plântulas

Houve interação tripla significativa entre os fatores métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento sobre a variável emergência de plântulas ( $p < 0,05$ ).

Ao comparar a porcentagem de emergência de plântulas entre os teores de água, dentro de cada método de secagem e tempo de armazenamento, observa-se que, aos quatro meses, não houve diferença (Tabela 6). Aos oito meses, houve diferença apenas para a secagem por ventilação forçada. Para este método de secagem, a menor porcentagem de emergência foi obtida para plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 20%, em comparação com as plântulas oriundas de sementes secas até os teores de água de 35 e 14% (Tabela 6). Aos doze meses, foram encontradas diferenças significativas entre os teores de água para os dois métodos de secagem. Plântulas oriundas de sementes secas a pleno sol até o teor de água de 14% apresentaram menor percentual de emergência, em relação às plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 20%; enquanto para a secagem por ventilação forçada, observou-se menor percentual de emergência para plântulas oriundas de sementes secas até os teores de água de 35 e 20%, em relação às plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 14% (Tabela 6).

Comparando-se a porcentagem de emergência de plântulas entre os métodos de secagem em cada teor de água e tempo de armazenamento, verifica-se que não

houve diferença significativa aos quatro meses de armazenamento (Tabela 6). Aos oito meses, observou-se diferença significativa para o teor de água de 20%, em que menor percentual de emergência foi obtido para plântulas oriundas de sementes secas por ventilação forçada (Tabela 6). Aos doze meses, houve diferença significativa para os teores de água de 35 e 20%. Para esses teores de água, foi constatado que plântulas provenientes de sementes submetidas à secagem por ventilação forçada apresentaram uma menor porcentagem de emergência (Tabela 6). Para esse teste, também não foram encontradas justificativas para as diferenças descritas acima.

Tabela 6- Emergência de plântulas de café (%), de acordo com o método de secagem, teor de água final após a secagem e tempo de armazenamento das sementes.

Tempo de armazenamento (meses)	Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)		
		35	20	14
4	Pleno sol	96 a <b>A</b>	95 a <b>A</b>	92 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	93 a <b>A</b>	94 a <b>A</b>	94 a <b>A</b>
8	Pleno sol	92 a <b>A</b>	94 a <b>A</b>	93 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	93 a <b>A</b>	84 b <b>B</b>	89 a <b>A</b>
12	Pleno sol	84 a <b>AB</b>	89 a <b>A</b>	81 a <b>B</b>
	Ventilação forçada	67 b <b>B</b>	70 b <b>B</b>	83 a <b>A</b>
CV (%)	3,57			

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, **maiúscula nas linhas** e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

Quanto ao efeito do tempo de armazenamento, ajustaram-se modelos para efeito linear decrescente (Figura 9). Os coeficientes das equações para os tratamentos de secagem por ventilação forçada até os teores de 35 e 20% não diferiram ( $p > 0,05$ ), portanto, ajustou-se o mesmo modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 97,80%. Também não houve diferença significativa entre os coeficientes das equações para os tratamentos de secagem a pleno sol até os teores

de água de 35, 20 e 14% e o tratamento de secagem por ventilação forçada até o teor de água de 14% ( $p > 0,05$ ), portanto, um único modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 95,95%, foi ajustado para estes tratamentos.

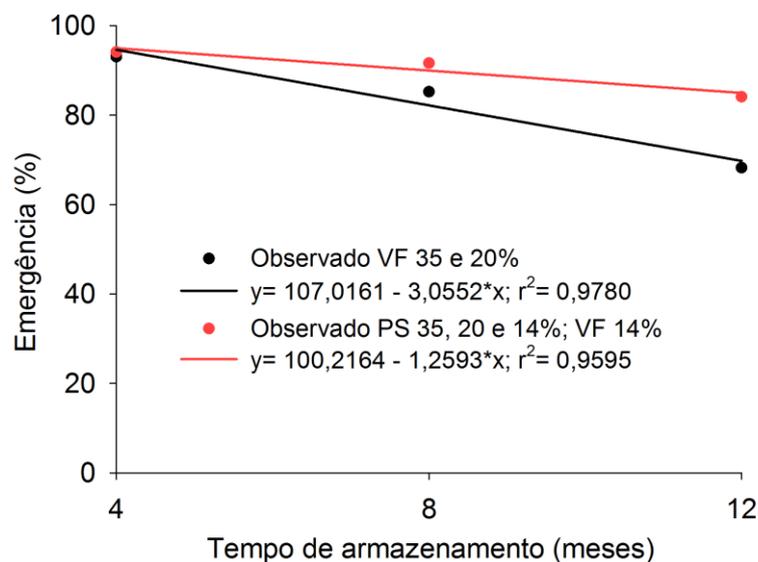


Figura 9- Emergência de plântulas de café (%), de acordo com o método de secagem e o teor de água final após a secagem, em função do tempo de armazenamento das sementes.

PS: Pleno sol; VF: Ventilação forçada. \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

A Figura 9 mostra uma redução linear na emergência de plântulas com o aumento do tempo de armazenamento das sementes de café, sendo que, a partir do oitavo mês, essa redução foi mais acentuada para as sementes secas por ventilação forçada até os teores de água de 35 e 20%. Não foram encontradas justificativas para a redução mais acentuada da emergência de plântulas para esses tratamentos.

No geral, a redução na emergência de plântulas indica diminuição do vigor das sementes de café armazenadas, confirmando os resultados obtidos nos testes de comprimento de plântulas e massa de matéria seca. Vieira et al. (2007) estudando a qualidade fisiológica de sementes de café arábica secas por diferentes métodos e armazenadas em diferentes condições ambientais, também observaram redução linear na emergência de plântulas durante o armazenamento.

### 3.3.6 Índice de velocidade de emergência

Houve interação tripla significativa dos métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento sobre a variável Índice de velocidade de emergência (IVE) ( $p < 0,05$ ).

Comparando-se o IVE entre os teores de água, dentro de cada método de secagem e tempo de armazenamento, observa-se que, aos quatro meses, para a secagem por ventilação forçada, houve menor IVE para plântulas obtidas a partir de sementes secas até o teor de água de 14% em relação as plântulas oriundas de sementes secas até o teor de água de 35% (Tabela 7). Aos 8 meses, menor IVE foi obtido para plântulas oriundas de sementes secas por ventilação forçada até o teor de água de 20%, em comparação as plântulas oriundas de sementes secas até os teores de água de 35 e 14% (Tabela 7). Aos doze meses, para a secagem a pleno sol, menor IVE foi observado para as plântulas obtidas a partir de sementes secas até o teor de água de 14%. Para a secagem por ventilação forçada à sombra, o menor IVE foi obtido para plântulas oriundas de sementes secas até os teores de água de 35 e 20% (Tabela 7).

Comparando-se os métodos de secagem em cada teor de água e tempo de armazenamento, nenhuma diferença foi observada aos quatro meses (Tabela 7). Aos oito meses, para os teores de água de 20 e 14%, menor valor de IVE foi obtido para plântulas oriundas de sementes secas por ventilação forçada (Tabela 7). Aos doze meses, para teores de água de 35 e 20%, os menores valores de IVE foram obtidos para plântulas oriundas de sementes secas por ventilação forçada (Tabela 7).

Do mesmo modo que para os resultados de porcentagem de protrusão radicular e emergência total de plântulas, não foram encontradas justificativas para as diferenças descritas acima para a variável IVE. Para esses testes de vigor, os resultados apresentaram algumas incoerências quando consideramos a interação entre o método de secagem e o teor de água, em cada tempo de armazenamento. Isso dificultou o estabelecimento de uma relação consistente entre o efeito dos métodos de secagem e do teor de água no do vigor das sementes ao longo do armazenamento.

Tabela 7- Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de café, de acordo com o método de secagem, teor de água final após a secagem e tempo de armazenamento das sementes.

Tempo de armazenamento (meses)	Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)		
		35	20	14
4	Pleno sol	1,48 a <b>A</b>	1,48 a <b>A</b>	1,46 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	1,53 a <b>A</b>	1,47 a <b>AB</b>	1,39 a <b>B</b>
8	Pleno sol	1,52 a <b>A</b>	1,59 a <b>A</b>	1,58 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	1,49 a <b>A</b>	1,29 b <b>B</b>	1,46 a <b>A</b>
12	Pleno sol	1,03 a <b>AB</b>	1,15 a <b>A</b>	0,98 a <b>B</b>
	Ventilação forçada	0,81 b <b>B</b>	0,80 b <b>B</b>	0,96 a <b>A</b>
CV (%)	5,02			

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, **maiúscula nas linhas** e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

À semelhança do que ocorreu para a maioria dos testes de vigor, para o efeito do tempo de armazenamento sobre o IVE, os modelos foram ajustados para efeitos lineares decrescentes, indicando uma redução linear dessa variável com o aumento do tempo de armazenamento das sementes (Figura 10). Os coeficientes das equações para os tratamentos de secagem por ventilação forçada até os teores de água de 35 e 20% não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ); portanto, ajustou-se um único modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 75,04%. Da mesma forma, os coeficientes das equações para os tratamentos de secagem a pleno sol até os teores de água de 35, 20 e 14% e secagem por ventilação forçada até o teor de água de 14% não diferiram ( $p > 0,05$ ) e também foi ajustado um único modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 93,11%.

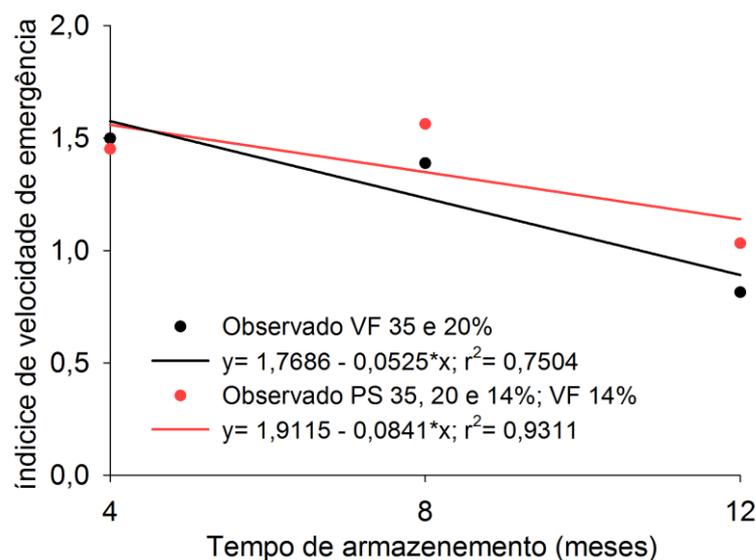


Figura 10- Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de café, de acordo com o método de secagem e o teor de água final após a secagem, em função do tempo de armazenamento das sementes.

PS: Pleno sol; VF: Ventilação forçada. \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Conforme mencionado anteriormente para os resultados de protrusão radicular, a diminuição do IVE com o aumento do tempo de armazenamento pode estar associada a atrasos na germinação devido à redução da atividade de enzimas hidrolíticas responsáveis pela degradação da parede celular do endosperma, o que dificulta a emissão e o desenvolvimento da radícula (Eira et al., 2006)

### 3.4 Considerações finais

Os resultados deste estudo são divergentes de outras pesquisas em relação ao comportamento das sementes de café durante o armazenamento. Observou-se que as sementes mantiveram sua capacidade de germinação por um período mais longo do que o relatado na maioria dos estudos e não apresentaram diferenças significativas em relação aos diferentes teores de água e métodos de secagem avaliados.

É importante destacar que as sementes de café possuem uma fase de pós-colheita mais complexa em comparação com outras culturas, envolvendo várias etapas. Fatores como colheita, processamento pós-colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento podem ter um impacto significativo na qualidade dessas sementes. No entanto, os estudos muitas vezes não seguem um padrão na realização dessas etapas, o que dificulta a comparação dos resultados.

Muitos estudos sugerem que as sementes de café perdem a qualidade quando secas a baixos teores de água e armazenadas por mais de seis meses. No entanto, apesar da diminuição do vigor, os resultados desta pesquisa comprovaram que as sementes de café arábica mantêm a viabilidade por doze meses, se forem secas em velocidade intermediária (pleno sol e ventilação forçada à sombra) até um teor de água entre 14 e 35%, e armazenadas em câmara fria a 12 °C e umidade relativa de 60%. Considerando que a germinação das sementes foi semelhante entre os métodos de secagem e teores de água testados, para maior agilidade e economia de energia durante o processo, recomenda-se secar as sementes de café a pleno sol em terreiro suspenso até o teor de água de 35%, e armazená-las em câmara fria, a 12°C e umidade relativa de 60%, por até doze meses.

#### **4. CONCLUSÕES**

A secagem a pleno sol em terreiro suspenso e a secagem por ventilação forçada à sombra não afetaram a germinação das sementes de café, independentemente do teor de água final.

Durante os doze meses de armazenamento em câmara fria a 12 °C e umidade relativa de 60%, a germinação das sementes foi superior ao valor mínimo exigido para comercialização (70%), independentemente do método de secagem utilizado e do teor de água final.

## 5. REFERÊNCIAS

ABREU, L. A. D. S.; VEIGA, A. D.; VON PINHO, É. V. D. R.; MONTEIRO, F. F.; ROSA, S. D. V. F. D. Behavior of coffee seeds to desiccation tolerance and storage. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 4, p. 399-406, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n41008>.

ALVES, G. E.; BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; SIQUEIRA, V. C.; CIRILLO, M. Â.; PINTO, A. C. F. Physiological and sensorial quality of Arabica coffee subjected to different temperatures and drying airflows. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 225-233, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.31065>.

ARAUJO, R. F.; ARAUJO, E. F.; CECON, P. R.; SOFIATTI, V. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despulpado e não despulpado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 71-78, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000300010>.

BAKHTAVAR, M. A.; AFZAL, I.; BASRA, S. M. A. Moisture adsorption isotherms and quality of seeds stored in conventional packaging materials and hermetic Super Bag. **Plos One**, v. 14, n. 2, p. e0207569, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207569>.

BAUDET, L. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTAL, M. D.; ROTA, G. R. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas, UFPel, 2003. p. 369-418.

BRANDÃO JR, D. S.; VIEIRA, M. G. G. C; GUIMARÃES, R. M., HILHORST, H. W. M. Tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista brasileira de sementes**, v. 24, n. 2, p. 17-23, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100004>.

BERNAL-LUGO, I.; LEOPOLD, A. C. Changes in soluble carbohydrates during seed storage. **Plant physiology**, v. 98, n. 3, p. 1207-1210, 1992. DOI:

<https://doi.org/10.1104/pp.98.3.1207>. Disponível em:  
<https://academic.oup.com/plphys/article/98/3/1207/6087773>. Acesso em: 8 set. 2022.

BRACCINI, L. A.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, M. D. C. L.; SQUAREZI, C. N. Efeito do grau de umidade e do tipo de embalagem na conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 21, n. 3, p. 571-577, 1999. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v21i0.4298>.

BRANDÃO JR, D. S.; VIEIRA, M. G. G. C; GUIMARÃES, R. M., HILHORST, H. W. M. Tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista brasileira de sementes**, v. 24, n. 2, p. 17-23, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100004>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento Gabinete do Ministro. Instrução Normativa Nº 35, de 29 de novembro de 2012. **Publicado no Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 de dezembro de 2012, Seção 1, p.11. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/INN35de29denovembrode2012.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.

COELHO, S. V. B.; FIGUEIREDO, M. A. D.; CLEMENTE, A. D. C. S.; COELHO, L. F. S.; ROSA, S. D. V. F. D. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café secas em sílica gel e soluções salinas saturadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 6, p. 483-491, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000600007>.

DUSSERT, S.; SERRET, J.; BASTOS-SIQUEIRA, A.; MORCILLO, F.; DÉCHAMP, E.; ROFIDAL, V.; LASHERMES, P.; ETIENNE, H.; JOËT, T. Integrative analysis of the late maturation programme and desiccation tolerance mechanisms in intermediate

coffee seeds. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 7, p. 1583-1597, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx492>.

EIRA, M. T.; SILVA, E. A.; DE CASTRO, R. D.; DUSSERT, S.; WALTERS, C.; BEWLEY, J. D.; HILHORST, H. W. Coffee seed physiology. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 149-163, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 9, p. 1167-1174, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/41.9.1167>.

GENTIL, D. F. D. O.; SILVA, W. R. D.; MIRANDA, D. M. D. Grau de umidade e temperatura na conservação de sementes de café. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 53-64, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000100007>.

KHAN, M. I. H., WELLARD, R. M., NAGY, S. A., JOARDDER, M. U. H., KARIM, M. A. Investigation of bound and free water in plant-based food material using NMR T2 relaxometry. **Innovative food Science & emerging technologies**, v. 38, p. 252-261, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.015>.

KHAN, M. I. H.; WELLARD, R. M.; NAGY, S. A.; JOARDDER, M. U. H.; KARIM, M. A. Experimental investigation of bound and free water transport process during drying of hygroscopic food material. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 117, p. 266-273, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.04.006>.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020. p.80-140.

KUMAR, C.; MILLAR G. J.; KARIM, M. A. Effective diffusivity and evaporative cooling in convective drying of food material. **Drying Technology**, v. 33, n. 2, p. 227-23, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.947512>.

MAGÜIRE, J. D. Seeds of germination and selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

NASIRO, K.; SHIMBER, T.; MOHAMMED, A. Germination and seedling growth rate of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds as influenced by initial seed moisture content, storage time and storage condition. **International Journal of Agriculture Biosciences**, v. 6, n. 6, p. 304-310, 2017.

PENIDO, A. C.; REIS, V. U. V.; REZENDE, E. M. D.; ROCHA, D. K.; OLIVEIRA, J. A.; ROSA, S. D. V. F. D. Cold coffee seeds storage with different water content. **Coffee Science**, v. 16, p. e161844, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.25186/.v16i.1844>.

RIBEIRO, M. D. F.; DE SOUZA, G. A.; ARAÚJO, E. F.; PIRES, R. M. D. O.; DONZELES, S. M. L. Alternative methods of biological control in maintaining the viability of stored coffee seeds. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 818-824, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.1049>.

ROBERTS, E. H. Storage environment and the control of viability. *In*: ROBERTS, E. H. (Ed.) **Viability of seeds**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. cap.2, p.14-58.

ROSA, S. D. V. F. D.; BRANDÃO JÚNIOR, D. D. S.; VON PINHO; E. V. D. R., VEIGA, A. D.; SILVA, L. H. D. C. Effects of different drying rates on the physiological quality of *Coffea canephora* Pierre seeds. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 2, p. 199-205, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000200002>.

ROSA, S. D. V. F.; CARVALHO, A. M.; MCDONALD, M. B.; VON PINHO, E. R. V.; SILVA, A. P.; VEIGA, A. D. The effect of storage conditions on coffee seed and

seedling quality. **Seed Science and Technology**, v. 39, n. 1, p. 151-164, 2011. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.1.13>.

SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; ZAMBOLIM, L. Melhoramento de café arábica. *In*: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 189-204.

SALES, J. D. F.; ALVARENGA, A. A. D.; OLIVEIRA, J. A. D.; NOGUEIRA, F. D.; REZENDE, L. C.; SILVA, F. G. Germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes concentrações e tempos de embebição em celulase. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 557-564, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000300009>.

SANTOS, G. C.; VON PINHO, E. V. R.; ROSA, S. D. V. F. Gene expression of coffee seed oxidation and germination processes during drying. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6968-6982, 2013. DOI <http://dx.doi.org/10.4238/2013.December.19.16>.

SAS. **SAS Software**. Version 9.4. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 2014.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. *In*: SILVA, J. S (Ed). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008. cap.5, p.241–260

SILVA, W. R.; DIAS, M. C. L. Interferência do teor de umidade das sementes de café na manutenção de sua qualidade fisiológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 5, p. 551-560, 1985.

STRELEC, I.; POPOVIĆ, R.; IVANIŠIĆ, I.; JURKOVIĆ, V.; JURKOVIĆ, Z.; UGARČIĆ-HARDI, Ž.; SABO, M. Influence of temperature and relative humidity on grain moisture, germination and vigour of three wheat cultivars during one year storage. **Poljoprivreda**, v. 16, n. 2, p. 20-24, 2010. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/file/92826>. Acesso em: 8 nov. 2022.

USDA United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Coffee: World Markets and Trade**, p. 1-9, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2022.

VEIGA, A. D.; GUIMARÃES, R. M.; ROSA, S. D. V. F.; VON PINHO, E. V. R; SILVA, L. H. C; VEIGA, A. D. Armazenabilidade de sementes de cafeeiro em diferentes estádios de maturação e submetidas a métodos diferentes de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n.1, p. 83-91, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100012>.

VELÁSQUEZ, S.; BANCHÓN, C. Influence of pre-and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: a short review. **Journal of Food Science and Technology**, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05569-z>.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; PEREIRA, C. E.; CARVALHO, F. E. D. Armazenamento de sementes de cafeeiro: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 76-82, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100011>.

## CAPÍTULO II

### IMPLICAÇÕES DE MÉTODOS DE SECAGEM E TEOR DE ÁGUA NA GERMINAÇÃO, TEOR DE METABÓLITOS E ANATOMIA DO ENDOSPERMA DE SEMENTES DE CAFÉ ARMAZENADAS

#### RESUMO

Existem poucas investigações que abordam o efeito dos métodos de secagem e teor de água sobre a concentração de carboidratos, proteínas solúveis e sua relação com a germinação de sementes de café arábica armazenadas. Também faltam pesquisas sobre a relação entre os métodos de secagem e o teor de água com possíveis alterações anatômicas no endosperma das sementes após o armazenamento. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar as alterações anatômicas e os teores de carboidratos e proteínas solúveis de sementes de café arábica durante o armazenamento por doze meses, após serem submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra até diferentes teores de água, bem como a relação dessas alterações com a germinação das sementes. As sementes de café arábica (*Coffea arabica* L.) foram obtidas de frutos colhidos no estágio de maturação cereja e secas a pleno sol em terreiro suspenso e por ventilação forçada à sombra até teores de água de 35, 20 e 14%. Em seguida, foram expurgadas com fosfina por 96 h, tratadas com o fungicida Tecto® (1 ml kg<sup>-1</sup> de sementes), acondicionadas em embalagem plástica impermeável (aproximadamente 400 g de sementes/embalagem), e armazenadas em câmara fria, a 12 °C, por 12 meses. Aos 0, 4, 8 e 12 meses de armazenamento, as sementes foram submetidas a avaliações de qualidade fisiológica e a análises bioquímicas e anatômicas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 x 4 (dois métodos de secagem, três teores de água e quatro tempos de armazenamento), com 3 repetições, sendo cada embalagem de aproximadamente 400 g de sementes uma unidade experimental. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey, para os dois primeiros fatores, e à análise de regressão para o tempo de

armazenamento, em nível de 5% de significância. A germinação das sementes de café foi semelhante entre os métodos de secagem e teor de água e manteve-se inalterada até o décimo segundo mês de armazenamento. Durante esse período, observou-se uma diminuição no teor de açúcar e um aumento no teor de proteínas solúveis dessas sementes. Após 12 meses de armazenamento, a integridade das células do endosperma das sementes se manteve inalterada, independentemente do método de secagem e teor de água final após a secagem. No entanto, é observada uma alteração no conteúdo celular, ocorrendo especificamente entre a 3ª e a 10ª camada de células da região periférica do endosperma. Conclui-se que o armazenamento afeta o teor de proteínas e açúcares solúveis das sementes de café. Independentemente do método de secagem e do teor de água, a integridade das células do endosperma das sementes de café é mantida após doze meses de armazenamento. Constatou-se a manutenção de atividade metabólica nas sementes armazenadas, com base nas diferenças nas concentrações de carboidratos e proteínas nas células do endosperma, entretanto, sem influencia na germinação. Os desdobramentos e importância para a conservação e vigor das sementes de café, que derivam do aumento de proteínas e redução dos carboidratos no endosperma, demandam abordagens adicionais mais aprofundadas.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Açúcares solúveis. Proteínas solúveis. Açúcares redutores. Açúcares não redutores.

## ABSTRACT

There are few studies addressing the effect of drying methods and water content on the concentration of carbohydrates, soluble proteins, and their relationship with the germination of stored Arabica coffee seeds. Additionally, research is lacking on the relationship between drying methods, water content, and possible anatomical changes in the seed endosperm after storage. Thus, the aim of this study was to investigate the anatomical changes and levels of carbohydrates and soluble proteins in Arabica coffee seeds during twelve months of storage, after being subjected to sun drying on suspended terraces and forced shade drying to different water contents, as well as the relationship of these changes with seed germination. Arabica coffee seeds (*Coffea arabica* L.) were obtained from fruits harvested at the cherry ripening stage and dried under sun drying on suspended terraces and forced shade drying up to water contents of 35%, 20%, and 14%. Subsequently, they were fumigated with phosphine for 96 hours, treated with the fungicide Tecto® (1 ml kg<sup>-1</sup> of seeds), placed in sealed impermeable plastic packaging (approximately 400 g of seeds per package), and stored in a cold chamber at 12 °C for 12 months. At 0, 4, 8, and 12 months of storage, the seeds were subjected to evaluations of physiological quality, biochemical, and anatomical analyses. The experimental design was completely randomized, in a 2 x 3 x 4 factorial scheme (two drying methods, three water contents, and four storage times), with 3 replications, where each package of approximately 400 g of seeds represented one experimental unit. The data were subjected to analysis of variance and Tukey's test for the first two factors, and regression analysis for storage time, at a significance level of 5%. The germination of coffee seeds was similar between drying methods and water content and remained unchanged until the twelfth month of storage. During this period, a decrease in sugar content and an increase in soluble protein content in these seeds were observed. After 12 months of storage, the integrity of the endosperm cells of the seeds remained unchanged, regardless of the drying method and water content after drying. However, an alteration in cellular content was observed specifically between the 3rd and 10th cell layers in the peripheral region of the endosperm. It can be concluded that storage affects the content of soluble proteins and sugars in coffee seeds. Regardless of the drying method and water content, the integrity of the endosperm cells of coffee seeds is maintained after twelve months of

storage. The maintenance of metabolic activity in stored seeds was confirmed based on the differences in carbohydrate and protein concentrations in the endosperm cells; however, this had no influence on germination. The implications and importance for the conservation and vigor of coffee seeds, stemming from the increase in proteins and reduction of carbohydrates in the endosperm, require further in-depth approaches.

Keywords: *Coffea arabica* L.. Soluble sugars. Soluble proteins. Reducing sugars. Non-reducing sugars.

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* possui duas espécies mais utilizadas para fins comerciais: *Coffea arabica* L. e *Coffea canefora* Pierre ex Froehner, conhecidas como café arábica e café robusta ou conilon, respectivamente (Rendón et al., 2014). Em termos de tolerância à dessecação e ao armazenamento, sementes de espécies do gênero *Coffea* são classificadas como intermediárias (Ellis et al., 1990). Isso significa que essas sementes não toleram secagem até teores de água abaixo de 7%, e/ou baixas temperaturas e/ou armazenamento prolongado (Ellis et al., 1990).

A sensibilidade à dessecação e a baixa capacidade de armazenamento das sementes são características especialmente relevantes para o café arábica, uma vez que a espécie é predominantemente autógama (90%), e sua propagação é feita por meio de semente (Arcila-Pulgarin et al., 2002).

As possíveis razões para a sensibilidade das sementes de café à dessecação são pouco esclarecidas. No entanto, pode-se inferir que o baixo potencial de armazenamento dessas sementes está relacionado a essa sensibilidade. Para que as sementes de café não percam a viabilidade após a secagem, elas devem permanecer com o teor de água mais elevado (maior que 7%) (Ellis et al., 1990). Sementes armazenadas com maior teor de água são mais propensas à deterioração, reduzindo sua longevidade.

A deterioração das sementes é caracterizada por uma sequência de eventos bioquímicos, moleculares, metabólicos e fisiológicos que causam danos às estruturas e ao metabolismo, resultando em um declínio gradual do vigor até que a semente perca sua capacidade germinativa (Ebene et al., 2019). Segundo Zhang et al. (2021), acredita-se que a principal causa da deterioração das sementes seja o dano oxidativo causado às biomoléculas e componentes celulares pelo ataque de espécies reativas de oxigênio (EROS).

Durante o armazenamento, a deterioração das sementes tem sido associada a vários mecanismos fisiológicos e moleculares, incluindo peroxidação lipídica, inativação de enzimas ou degradação de proteínas, rompimento das membranas celulares e perda da integridade do DNA (Zhang et al., 2021; Ebene et al., 2019; Bewley et al., 2013). No entanto, é possível que alterações bioquímicas em compostos de reserva, como carboidratos e proteínas, também sejam responsáveis pela redução

do vigor e da germinação em sementes com maior tempo de armazenamento. Segundo Moncaleano-Escandon et al. (2013), a perda de viabilidade das sementes está relacionada ao seu próprio metabolismo, que permanece ativo e consome parte das reservas armazenadas, mesmo que estas sejam mantidas com baixo teor de água.

Juntamente com os lipídeos e proteínas, os carboidratos são reservas importantes nas sementes, utilizadas para suprir as necessidades energéticas para o crescimento e desenvolvimento das plântulas até se tornarem autotróficas (Ziegler, 1995). Os principais tipos de carboidratos encontrados nas sementes incluem oligossacarídeos, polissacarídeos e polissacarídeos da parede celular (celulose, hemicelulose e pectina) (Aguirre et al., 2018). Além de fornecer energia, a acumulação de certos oligossacarídeos, como sacarose, rafinose e estaquiose, tem sido associada a um dos mecanismos que contribuem para a tolerância de sementes ortodoxas à dessecação (Bewley et al., 2013). Durante a desidratação dessas sementes, esses compostos mantêm o estado vítreo e estabilizam as membranas celulares (Bewley et al., 2013).

Em relação à deterioração, foi observado que a diminuição do teor de açúcares solúveis e o acúmulo de açúcares redutores coincidiram com a perda de viabilidade de sementes de acácia (*Acacia mangium*) (Pádua et al., 2019) e pinhão-manso *Jatropha curcas* (Moncaleano-Escandon et al., 2013) armazenadas. Esse fato corrobora a hipótese de que mudanças nas concentrações de carboidratos também estão ligadas aos mecanismos de deterioração de sementes de algumas espécies.

As proteínas também são importantes compostos de reservas das sementes. Essas macromoléculas são armazenadas em corpos proteicos presentes no endosperma e no embrião das sementes e, durante a germinação, são quebradas em aminoácidos livres para biossintetizar novas proteínas e gerar energia (Rosental et al., 2014; Tan-Wilson e Wilson, 2011). A degradação de proteínas durante o armazenamento de sementes também tem sido associada a processos de deterioração em sementes de algumas espécies (Pádua et al., 2019; Martinez-Maldonado et al., 2015; Abbade e Takaki, 2014; Kapoor et al., 2010).

A degradação dos compostos de reserva durante o armazenamento ocorre devido ao metabolismo das sementes e também ao ataque de agentes oxidantes (Moncaleano-Escandon et al., 2013). Por ser tratar de uma condição de estresse, que

leva à produção de vários compostos oxidativos, é possível que os métodos de secagem também contribuam para os processos de deterioração das sementes de café.

Para sementes de café arábica, a secagem lenta (sombra) tem demonstrado proporcionar melhor qualidade durante o armazenamento, e maior tempo de conservação, em comparação com a secagem rápida (ar quente) (Abreu et al., 2014; Vieira et al., 2007). Isso porque, quando a água é removida lentamente, a integridade dos componentes celulares é mais bem preservada, além de proporcionar mais tempo para a ativação dos mecanismos de reparo e proteção contra danos oxidativos (Abreu et al., 2014). No entanto, esse método tem a desvantagem de ser muito demorado e pode favorecer a deterioração das sementes, pois elas permanecem expostas a variações de temperatura e umidade relativa por vários dias. Assim, métodos com taxas de secagem intermediárias, como a secagem por ventilação forçada à sombra e a secagem a pleno sol em terreiro suspenso, podem ser uma alternativa para superar as desvantagens da secagem lenta ou rápida para a qualidade de sementes de café.

Investigações sobre alterações bioquímicas em sementes de café têm se concentrado no efeito dos métodos de secagem e do teor de água na atividade enzimática e no desempenho fisiológico dessas sementes durante o armazenamento (Penido et al., 2021; Coelho et al., 2015; Abreu et al., 2014). Até o momento, inexistem pesquisas sobre o efeito de diferentes métodos de secagem na concentração de compostos de reserva e sua relação com a viabilidade de sementes de café arábica armazenadas. Também faltam pesquisas sobre a relação entre métodos de secagem e teor de água com possíveis alterações anatômicas no endosperma das sementes após o armazenamento.

À face do exposto, o objetivo deste estudo foi investigar as alterações anatômicas e os teores de carboidratos e proteínas solúveis de sementes de café durante o armazenamento por doze meses, após serem submetidas à secagem a pleno sol em terreiro suspenso e à secagem por ventilação forçada à sombra até diferentes teores de água, bem como a relação dessas alterações com a germinação das sementes armazenadas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2. 1 Delineamento experimental**

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial (2 x 3 x 4), sendo dois métodos de secagem (secagem a pleno sol em terreiro suspenso e secagem por ventilação forçada à sombra), três teores de água após a secagem (35, 20 e 14%), e quatro tempos de armazenamento (0, 4, 8 e 12 meses), totalizando 72 unidades experimentais.

### **2. 2 Obtenção das sementes**

Foram utilizadas sementes de café arábica (*Coffea arabica* L.), da Cultivar Paraíso MG H 419-1, produzidas em campo de produção de sementes inscrito no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), localizado no município de Paula Cândido, Zona da Mata de Minas Gerais (42º 54' 56,7" W e 20º 49' 46,3" S). Os frutos foram colhidos no mês de junho de 2021, quando estavam no estágio de maturação cereja. Na sequência, estes foram despulpados mecanicamente e degomados por fermentação natural, por 12 h. Após a degomagem, as sementes foram lavadas para retirada da mucilagem remanescente e, enviadas para o processo de secagem.

### **2. 3 Secagem**

A secagem foi realizada no setor de secagem e armazenamento de produtos agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Antes da secagem, o teor de água das sementes foi determinado conforme a metodologia descrita na Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). As sementes foram submetidas aos seguintes métodos de secagem:

1. Secagem a pleno sol em terreiro suspenso: as sementes foram dispostas em camada fina sobre uma tela de malha tipo sombrite 50%, sustentada por uma estrutura de madeira (terreiro suspenso), e secas a pleno sol, até atingirem teores de água de aproximadamente 35, 20 e 14%. Durante a secagem, as sementes foram revolvidas a cada 30 min.
2. Secagem por ventilação forçada à sombra: as sementes foram acondicionadas em redes plásticas de polietileno, e dispostas sobre uma chapa de aço com 20% de perfuração, a qual recobre um túnel de ventilação em alvenaria, de 4 m, de um terreiro híbrido com cobertura permanente para a secagem de café. As sementes foram secas utilizando ar à temperatura ambiente, movimentado por um ventilador axial, com velocidade de  $1 \text{ m s}^{-1}$ , conectado ao túnel de ventilação do terreiro.

O período diário de secagem foi das 9h às 15h. A redução do teor de água das sementes durante a secagem foi acompanhada por pesagens periódicas, a cada 3 h, em balança semi analítica (precisão de 0,001 g), até atingirem massa correspondente aos teores de água aproximados de 35, 20 e 14%. O cálculo da massa final foi realizado utilizando a Equação 1.

$$mf = mi \cdot \frac{(1 - xi)}{(1 - xf)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

*mf*- massa final das sementes secas (g);

*mi*- massa inicial das sementes (g);

*xi*- teor de água inicial das sementes;

*xf*- teor de água final das sementes.

## **2. 4 Tratamento e armazenamento**

Após a secagem, as sementes foram expurgadas com fosfina por 96 h, tratadas com o fungicida Tecto® SC. (485 g L<sup>-1</sup> tiabendazol), na concentração de 1 ml kg<sup>-1</sup> de sementes, e acondicionadas em embalagens de polietileno lacradas (espessura de 0,12 mm). Foram utilizadas 72 embalagens, cada uma contendo aproximadamente 400 g de semente, sendo que cada embalagem representou uma unidade experimental. O armazenamento das sementes foi realizado em câmara fria, a 12 °C e umidade relativa de 60%, por 0, 4, 8 e 12 meses. Ao final de cada tempo de armazenamento, as sementes foram submetidas ao teste de germinação e a análises bioquímicas e anatômica.

## **2. 5 Teste de germinação**

O teste de germinação foi realizado no Laboratório de Análises de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. Foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes sem pergaminho, retiradas aleatoriamente de cada unidade experimental, semeadas em três folhas de papel germitest, umedecidas com água destilada em quantidade igual a 2,5 vezes o peso seco do papel. Durante a montagem do teste, as sementes foram tratadas com o fungicida Captan®, na proporção de 4 ml L<sup>-1</sup> de água. Os rolos de papel germitest foram mantidos em câmara de germinação, a uma temperatura constante de 30 °C, por 30 dias, conforme determina a Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009). A avaliação foi feita por contagem das plântulas normais, 30 dias após a semeadura, sendo o resultado expresso em porcentagem (%).

## **2. 6 Análises bioquímicas**

As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Pós-colheita de Hortaliças do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa.

### **2.6.1 Obtenção das amostras**

Cinquenta sementes sem pergaminho, retiradas aleatoriamente de cada unidade experimental, foram usadas para as análises bioquímicas. As amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e mantidas em liofilizador por 72 h. Após a liofilização, foram processadas em moinho de bolas com câmara fechada. O material obtido foi acondicionado em microtubos Eppendorf e estes foram armazenados em recipientes plásticos lacrados contendo sílica gel, até a realização das análises.

### **2.6.2 Extração e determinação do conteúdo de proteínas solúveis**

O teor de proteínas solúveis foi determinado pelo método proposto por Bradford (1976). Para obter o extrato proteico, aproximadamente 0,5 g de pó das sementes liofilizadas foram pesados para cada unidade experimental. Em seguida, foram adicionados 2 ml de tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 6,8, ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 0,1 mM, 1 mM de fenilmetilsulfonylfluoreto (PMSF) e 1% de polivinilpirrolidona (PVPP) (p/v). A mistura foi centrifugada a 12.000 xg por 15 min a 4 °C. O sobrenadante foi coletado e a fração insolúvel descartada. O teor de proteínas totais foi determinado pela adição de 8 µl do extrato proteico obtido a tubos de ensaio contendo 92 µl de água e 1 ml de reagente de Bradford. As amostras foram mantidas no escuro por 20 min e, em seguida, a absorbância foi lida em um espectrofotômetro, a 490 nm. As análises foram realizadas em duplicata. Os resultados foram expressos em porcentagem em relação à massa seca (% m.s.).

### **2.6.3 Obtenção do extrato para quantificação dos açúcares solúveis totais e redutores**

A preparação do extrato bruto para determinação de açúcares solúveis totais e açúcares redutores foi realizada utilizando-se aproximadamente 0,5 g de pó das sementes liofilizadas por unidade experimental. A extração foi feita adicionando 8 ml de etanol (80%) às amostras a uma temperatura de 65 °C. O conteúdo foi agitado em

vórtex e, em seguida, centrifugado a 2.000 rpm por 5 min. O líquido sobrenadante resultante foi coletado e armazenado em frascos lacrados na geladeira, a uma temperatura de 4 °C, para posterior quantificação dos açúcares solúveis totais e açúcares redutores.

#### **2.6.4 Quantificação dos açúcares solúveis totais**

Foi realizada pelo método fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956), utilizando-se uma curva de solução de glicose, a 1%, como padrão. Em duplicata, alíquotas de 25 µL do extrato alcoólico obtido, 225 µL de água e 250 µL de fenol 5% foram adicionadas a tubos de ensaio com tampa de rosca. O conteúdo dos tubos foi homogeneizado em vórtex. Em seguida, 1,25 ml de ácido sulfúrico concentrado foi adicionado aos tubos e o conteúdo foi novamente homogeneizado. Após esta etapa, os tubos foram transferidos para banho-maria a 30 °C e retirados após 20 min. Após as amostras atingirem a temperatura ambiente, a absorbância foi lida em espectrofotômetro, a 490 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem em relação à massa seca (% m.s.).

#### **2.6.5 Quantificação dos açúcares redutores**

Foi realizada pela metodologia do ácido dinitrosalicílico (DNS) (Gonçalves et al., 2010), utilizando-se uma curva de solução de frutose a 0,2% como padrão. O reagente foi preparado dissolvendo-se 5 g de ácido dinitrosalicílico em 250 mL de água destilada a 80 °C. Após a solução atingir a temperatura ambiente (24 °C), foram adicionados 100 mL de NaOH 2N e 150 g de tartarato de sódio e potássio 4-hidratado e água destilada para completar um volume de 500 mL. Para a quantificação do teor de açúcares redutores, sempre em duplicata, foram adicionadas alíquotas de 500 µL do extrato alcoólico e 500 µL do reagente a tubos de ensaio com tampa de rosca. Os tubos foram imersos em banho-maria a 100 °C por 5 min e, em seguida, em um banho de gelo. Após esta etapa, 4 mL de água destilada foram adicionados a cada tubo. As

leituras de absorvância da solução final foram feitas em espectrofotômetro, a 490 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem em relação à massa seca (% m.s.).

### **2.6.6 Determinação do conteúdo de açúcares não redutores**

Foi estimado subtraindo-se o teor de açúcares redutores do teor de açúcares solúveis totais e expressos em porcentagem em relação à massa seca (% m.s.).

## **2. 7 Análises anatômicas e histoquímicas**

As análises anatômicas e histoquímicas foram realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Viçosa. Antes (sem armazenamento) e após 12 meses de armazenamento, uma semente de cada unidade experimental foi cortada transversalmente na região central, fixada em FAA50 (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 50%, na proporção de 5: 5: 90, v: v: v) por 48 h, sob vácuo, e estocada em etanol 70% (Johansen, 1940). Posteriormente, o material foi desidratado em série etílica crescente e incluído em metacrilato (Historesin–Leica), conforme as recomendações do fabricante. O material emblocado foi seccionado em seções transversais com espessura de 5 µm em um micrótomo rotativo. Os cortes foram corados com azul de toluidina (O'Brien et al., 1964) para a caracterização anatômica, por 10 min, e montados em lâminas permanentes com resina sintética (Permound®). As lâminas foram observadas e fotografadas em um fotomicroscópio (modelo AX70 TRF, Olympus Optical, Tokyo, Japão) com sistema U-PHOTO, acoplado a uma câmera digital (modelo AxionCan, Carl Zeiss, Gena, Alemanha) e a um microcomputador.

## **2. 8 Análises estatísticas**

Os dados do teste de germinação e das avaliações bioquímica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em nível de 5% de significância, para avaliar o efeito da interação entre os fatores. As médias dos fatores qualitativos (métodos de secagem e teor de água) foram comparadas pelo teste de Tukey em nível 5% de significância. Os dados referentes ao fator quantitativo (tempo de armazenamento) foram submetidos à análise de regressão. Todas as análises foram realizadas utilizando o software SAS®, versão 9.4 (SAS, 2014). Para as avaliações anatômicas utilizou-se a estatística descritiva.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Germinação**

A análise de variância mostrou que os métodos de secagem, os teores de água e o tempo de armazenamento não tiveram efeito significativo na germinação das sementes ( $p > 0,01$ ). As médias gerais estimadas para os diferentes métodos de secagem, teores de água e períodos de armazenamento variaram entre 76% e 79%, conforme apresentado na Tabela 1. Isso indica que, independentemente do método de secagem e teor de água utilizados neste estudo, a taxa de germinação das sementes permaneceu inalterada ao longo dos doze meses de armazenamento

Tabela 1- Germinação (%) de sementes de café, de acordo com o método de secagem, o teor de água final após a secagem e o tempo de armazenamento.

Tempo de armazenamento (meses)	Métodos de secagem	Teor de água após a secagem (%)			Médias
		35	20	14	
0	Pleno sol	79	81	80	79
	Ventilação forçada	77	79	77	
4	Pleno sol	81	79	80	79
	Ventilação forçada	76	80	77	
8	Pleno sol	79	77	80	79
	Ventilação forçada	76	80	80	
12	Pleno sol	79	68	76	76
	Ventilação forçada	75	82	73	
Médias		78	78	78	

### 3.2 Proteínas solúveis

A análise de variância revelou uma interação tripla significativa entre os métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento em relação ao teor de proteínas solúveis nas sementes de café ( $p < 0,05$ ).

Considerando todos os tempos de armazenamento, o teor de proteínas solúveis das sementes de café variou de 4,67 a 20,69% (Tabela 2). Estudos relatam o teor de proteínas das sementes de café (sem armazenamento) entre 8,9% e 15,76% (Kitzberger et al., 2016; Ali et al., 2012). Com exceção do tempo de 12 meses, os valores de teor de proteínas das sementes ficaram próximos a esta faixa.

Comparando-se o teor de proteínas solúveis das sementes entre os teores de água, dentro de cada método de secagem e tempo de armazenamento, foi encontrada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para sementes secas a pleno sol e secas por ventilação forçada, armazenadas por quatro meses, e para sementes secas a pleno sol, armazenadas por oito meses (Tabela 2). Aos quatro meses, tanto para sementes

secas a pleno sol quanto para sementes secas por ventilação forçada, obteve-se menor teor de proteínas solúveis para sementes secas até o teor de água de 35% em comparação com as sementes secas até teor de água de 14%. Aos oito meses, para o método de secagem por ventilação forçada, o menor teor de proteínas solúveis foi obtido para as sementes secas até o teor de água de 35% em relação às sementes secas até o teor de água de 14%.

Ao comparar o teor de proteínas solúveis das sementes de café entre os métodos de secagem, dentro de cada teor de água e tempo de armazenamento, observou-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para sementes não armazenadas (zero) e com oito meses de armazenamento, quando secas até o teor de água de 14% (Tabela 2). Para esse teor de água, aos zero e oito meses de armazenamento, as sementes secas pelo método de secagem a pleno sol apresentaram menor teor de proteínas em relação às sementes secas por ventilação forçada.

Tabela 2- Teor de proteínas solúveis (%) de sementes de café, de acordo com o método de secagem, teor de água final após a secagem e tempo de armazenamento.

Tempo de armazenamento (meses)	Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)		
		35	20	14
0	Pleno Sol	9,60 a <b>A</b>	9,57 a <b>A</b>	4,67 b <b>A</b>
	Ventilação forçada	8,84 a <b>A</b>	10,65 a <b>A</b>	11,49 a <b>A</b>
4	Pleno Sol	7,69 a <b>B</b>	12,65 a <b>AB</b>	16,62 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	9,87 a <b>B</b>	12,36 a <b>AB</b>	16,94 a <b>A</b>
8	Pleno Sol	12,17 a <b>A</b>	11,04 a <b>A</b>	8,25 b <b>A</b>
	Ventilação forçada	8,65 a <b>B</b>	10,84 a <b>AB</b>	15,31 a <b>A</b>
12	Pleno Sol	15,75 a <b>A</b>	20,05 a <b>A</b>	20,69 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	19,36 a <b>A</b>	20,49 a <b>A</b>	18,01 a <b>A</b>
CV (%)	20,02			

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, **maiúscula nas linhas** e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

De maneira geral, nota-se que para cada período de armazenamento, os teores de proteínas solúveis das sementes foram semelhantes entre os teores de água e entre os métodos de secagem. No entanto, algumas diferenças observadas não refletiram uma tendência entre os tempos de armazenamento ou estabeleceram uma relação com a viabilidade das sementes. Essas diferenças podem estar relacionadas ao pequeno número de sementes utilizadas para compor as amostras para análises bioquímicas (50 sementes/unidade experimental). Sementes individualizadas podem apresentar diferenças naturais em sua composição, portanto, uma avaliação mais abrangente, com maior número amostral e mais cultivares é necessária para melhor confirmação deste resultado.

A análise de variância também mostrou que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) do tempo de armazenamento sobre o teor de proteínas solúveis das sementes de café. Para sementes submetidas à secagem por ventilação forçada até o teor de água de 14%, ajustou-se o modelo para efeito linear crescente, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 44,50%, indicando aumento do teor de proteínas solúveis com o aumento do tempo de armazenamento (Figura 1). Para os demais tratamentos, os coeficientes das equações não diferiram ( $p > 0,05$ ); portanto, ajustou-se um único modelo para efeito linear crescente, com  $r^2$  de 65,74%, indicando que também houve aumento no teor de proteínas solúveis durante o armazenamento (Figura 1).

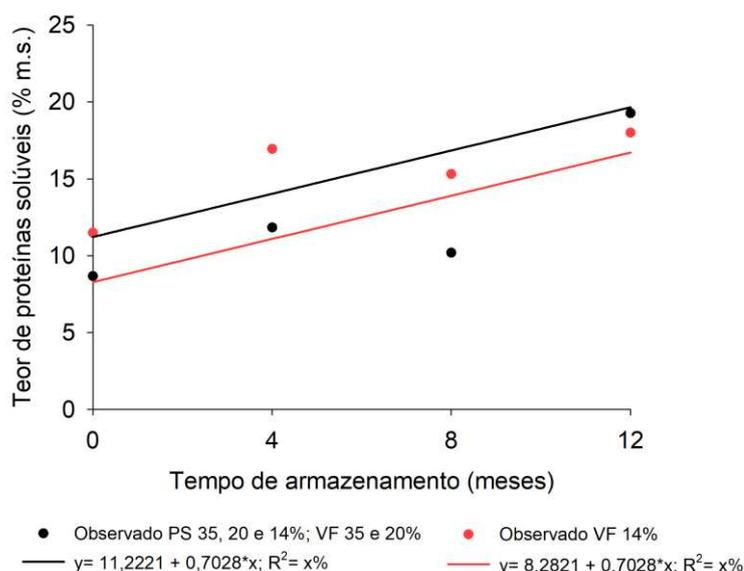


Figura 1 - Teor de proteínas solúveis (% m.s.) de sementes de café de acordo com o método de secagem e teor de água final após a secagem, em função do tempo de armazenamento.

PS: Pleno sol; VF: Ventilação forçada. \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

O aumento do teor de proteínas solúveis durante o armazenamento sugere que as sementes mantiveram um metabolismo ativo ao longo desse período, o que resultou em uma maior solubilidade proteica. Eichelberger et al. (2002) observaram aumento no teor de proteínas solúveis em sementes de azevém (*Lolium multiflorum* Lam) durante o armazenamento. Segundo esses autores, o consumo de cadeias carbônicas de aminoácidos para suprir as necessidades energéticas das sementes armazenadas pode ter aumentado a solubilidade das proteínas de reserva.

Um aumento no teor de proteínas solúveis também foi observado por Pádua et al. (2019) para sementes de acácia (*Acacia mangium* Willd.) armazenadas. No entanto, para esses autores, esse aumento da solubilidade proteica está relacionado à clivagem dos aglomerados de proteínas de reserva das sementes devido à intensificação das reações de deterioração com o aumento do tempo de armazenamento.

Nos estudos de Eichelberger et al. (2002), para sementes de azevém, e Pádua et al. (2019), para sementes de acácia, foi demonstrado que o aumento no teor de proteínas solúveis durante o armazenamento das sementes coincidiu com a redução

da viabilidade. No entanto, no presente estudo, embora o teor de proteínas solúveis tenha aumentado durante o armazenamento das sementes, não foi observado efeito significativo do tempo de armazenamento na germinação (Tabela 1). Desta forma, ainda que o aumento no teor de proteínas solúveis durante o armazenamento indique a manutenção de uma taxa de metabolismo ativo nas sementes de café, essa alteração parece ter pouca relação com a germinação.

### 3.3 Açúcares solúveis totais

Pela análise de variância, não houve interação significativa entre métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento e nenhum efeito significativo dos métodos de secagem sobre o teor de açúcares solúveis totais das sementes de café ( $p > 0,05$ ). Entretanto, houve efeitos independentes dos fatores teor de água e tempo de armazenamento sobre essa variável ( $p < 0,05$ ). As sementes secas até o teor de água de 35% apresentaram o menor teor de açúcares solúveis totais em relação às sementes secas até os teores de água de 20 e 14% água (Tabela 3).

Tabela 3- Teor de açúcares solúveis totais (%) de sementes de café, de acordo com o teor de água final após a secagem.

Teor de água após a secagem (%)	Teor de açúcares solúveis totais (%)
35	2,63 b
20	3,41 a
14	3,74 a
CV (%)	19,85

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); CV: coeficiente de variação

Sementes com maior teor de água provavelmente apresentaram maiores taxas respiratórias, resultando em um maior consumo de carboidratos solúveis. Apesar do menor teor de açúcares solúveis totais observado para sementes secas até o teor de

água de 35%, a porcentagem de germinação dessas sementes foi semelhante à das sementes secas até os teores de 20% e 14% (Tabela 1). Isso indica que o teor de açúcares solúveis também tem pouca, ou nenhuma relação com a germinação das sementes de café arábica. Oliveira et al. (2020), por meio de análises histoquímicas, observaram que durante a germinação de sementes de café arábica ocorreu uma intensa redução na espessura da parede celular das células do endosperma. Esse fato pode explicar a baixa relação entre os açúcares solúveis e a germinação das sementes de café, pois os carboidratos estruturais que compõem a parede celular do endosperma são uma das principais fontes de reservas de carboidratos necessárias durante a germinação das sementes. Portanto, mudanças no teor de carboidratos solúveis podem ter pouca ou nenhuma influência na germinação das sementes de café.

Para o efeito do tempo de armazenamento no teor de açúcares solúveis totais, ajustou-se o modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 76,23%, mostrando que o teor de açúcares solúveis diminuiu durante o armazenamento das sementes de café (Figura 2).

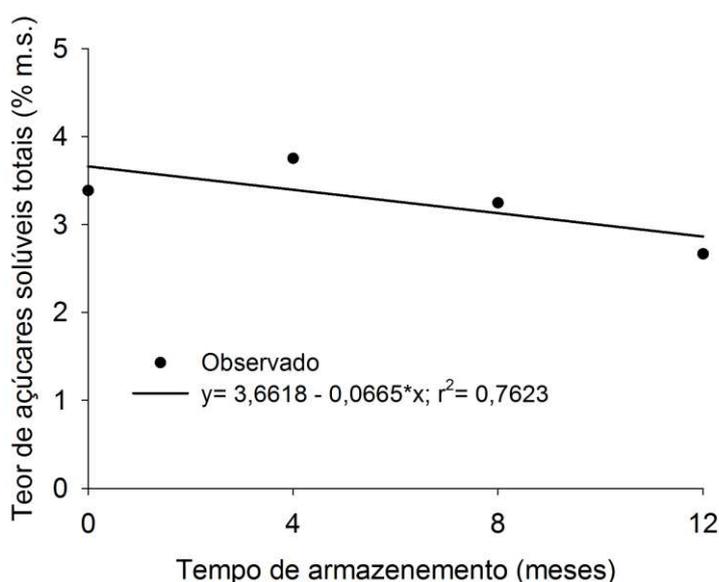


Figura 2- Teor de açúcares solúveis totais (%) de sementes de café, em função do tempo de armazenamento.

m.s.: massa seca; \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

A diminuição do teor de açúcares solúveis nas sementes de café ao longo do armazenamento indica que essas reservas foram utilizadas pelo metabolismo das sementes durante esse período. Devido ao seu comportamento intermediário para tolerância à dessecação, as sementes de café foram secas e armazenadas com uma faixa de teor de água relativamente alta (14 a 35%) (dados apresentados no Capítulo I). A hipótese é que, nessa faixa de teor de água, as sementes permanecem metabolicamente ativas, levando ao consumo dessas reservas para suprir as necessidades energéticas.

Ao estabelecer uma relação entre o efeito do tempo de armazenamento no teor de açúcares solúveis totais e na germinação das sementes, observa-se que este afetou o teor desses carboidratos, mas não afetou a germinação. Este fato confirma a ausência ou baixa relação desses compostos para a manutenção da germinação das sementes de café armazenadas.

Selmar et al. (2008) estudaram as mudanças nos carboidratos solúveis e na viabilidade de grãos de café arábica armazenados por dois anos como café em pergaminho e grãos descascados. Os autores constataram uma ligeira diminuição no teor de carboidratos solúveis durante o armazenamento, mas as mudanças observadas não se correlacionaram com a viabilidade das sementes de café. Segundo os autores, os teores dos principais açúcares solúveis (glicose, frutose, sacarose, galactose e ramnose) foram semelhantes entre o café processado por via úmida, seca ou semi seca, assim como entre o café em pergaminho e descascado. No entanto, ao contrário dos grãos descascados, os cafés em pergaminho permaneceram viáveis durante a maior parte do período de armazenamento. Como resultado, os autores também sugeriram que as variações na concentração de açúcar solúvel durante o armazenamento têm pouca relação com a viabilidade das sementes de café arábica.

### 3.4 Açúcares redutores

Houve interação tripla significativa entre os métodos de secagem, teor de água e tempo de armazenamento sobre o teor de açúcares redutores das sementes ( $p < 0,05$ ).

Ao comparar o teor de açúcares redutores entre os teores de água, dentro de cada método de secagem e tempo de armazenamento, observa-se que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para o método de secagem a pleno sol em nenhum dos tempos de armazenamento. Entretanto, para o método de secagem por ventilação forçada, foi encontrada diferença significativa entre os teores de água aos quatro e doze meses de armazenamento (Tabela 4). Aos quatro meses, as sementes secas por ventilação forçada até o teor de água de 14% apresentaram maior teor de açúcares redutores em relação às sementes secas até os teores de água de 35 e 20%. Em contraste, aos doze meses, o maior teor de açúcares redutores foi obtido para sementes secas por ventilação forçada até os teores de água de 35% em comparação com sementes secas até os teores de água de 20 e 14%.

Ao comparar o teor de açúcares redutores entre os métodos de secagem em cada teor de água e tempo de armazenamento, observa-se que também houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas aos quatro e doze meses de armazenamento (Tabela 4). Aos quatro meses, as sementes submetidas à secagem por ventilação forçada até o teor de água de 14% apresentaram maior teor de açúcares redutores em relação às sementes secas a pleno sol em terreiro suspenso até o mesmo teor de água. Aos doze meses, para teor de água de 35%, maior teor de açúcares redutores foi observado nas sementes secas por ventilação forçada quando comparadas às sementes secas a pleno sol em terreiro suspenso.

Tabela 4- Teor de açúcares redutores (%) de sementes de café, de acordo com o método de secagem, teor de água final após a secagem e tempo de armazenamento.

Tempo de armazenamento (meses)	Método de secagem	Teor de água após a secagem (%)		
		35	20	14
0	Pleno Sol	0,73 a <b>A</b>	0,66 a <b>A</b>	0,70 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	0,56 a <b>A</b>	0,58 a <b>A</b>	0,61 a <b>A</b>
4	Pleno Sol	0,68 a <b>A</b>	0,69 a <b>A</b>	0,64 b <b>A</b>
	Ventilação forçada	0,75 a <b>B</b>	0,65 a <b>B</b>	0,98 a <b>A</b>
8	Pleno Sol	0,64 a <b>A</b>	0,77 a <b>A</b>	0,73 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	0,71 a <b>A</b>	0,72 a <b>A</b>	0,70 a <b>A</b>
12	Pleno Sol	0,82 b <b>A</b>	0,80 a <b>A</b>	0,89 a <b>A</b>
	Ventilação forçada	1,12 a <b>A</b>	0,74 a <b>B</b>	0,74 a <b>B</b>
CV (%)	15,26			

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, **maiúscula nas linhas** e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

Verifica-se que, em geral, as médias dos teores de açúcares redutores em cada tempo de armazenamento foram muito semelhantes entre os teores de água e entre os métodos de secagem. Este resultado permite inferir que as condições de secagem e o teor de água utilizados no estudo tiveram pouco efeito sobre o teor de açúcares redutores das sementes de café. As variações no teor de açúcares redutores para combinações específicas de fatores não seguiram uma tendência durante o armazenamento. Para se excluir a hipótese deste resultado ser decorrente de variações aleatórias da composição das reservas de sementes individuais e, visando uma melhor compreensão desses resultados, uma análise complementar com um maior número de repetições e sementes por unidade experimental deve ser realizada.

Com relação ao tempo de armazenamento, houve efeito significativo no teor de açúcares redutores apenas para a secagem por ventilação forçada até o teor de água de 35% ( $p < 0,05$ ). Para este tratamento, ajustou-se o modelo para efeito linear crescente, com  $r^2$  de 88,26%, indicando aumento no teor de açúcares redutores nessas sementes durante o armazenamento (Figura 3).

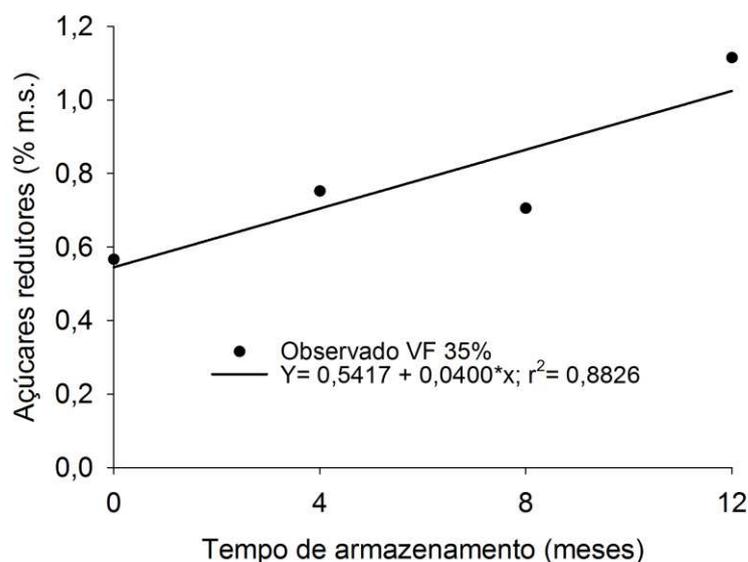


Figura 3– Teor de açúcares redutores (%) de sementes de café secas por ventilação forçada até o teor de água de 35%, em função do tempo de armazenamento.

\* m.s.: massa seca; \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Moncaleano-Escandon et al. (2013) também observaram aumento no teor de açúcares redutores durante o armazenamento de sementes de *Jatropha curcas*. Segundo os autores, a hidrólise dos açúcares nas sementes levaria ao acúmulo desses açúcares redutores. Porém, na presente pesquisa, o aumento no teor de açúcares redutores ocorreu apenas para as sementes de café secas por ventilação forçada à sombra até o teor de água de 35%, e a redução no teor de açúcares não redutores, que poderia indicar uma possível hidrólise de açúcares não redutores e formação de açúcares redutores, ocorreu independentemente do método de secagem e teor de água das sementes.

Uma hipótese é que o método de secagem por ventilação à sombra associado ao armazenamento dessas sementes com maior teor de água favoreceu a manutenção da taxa metabólica e a hidrólise de outros carboidratos não solúveis durante o armazenamento. Por exemplo, os carboidratos estruturais que compõem a parede celular das células do tecido do endosperma podem ser parcialmente hidrolisados (Oliveira et al., 2020) levando a um aumento no teor de açúcares redutores para este tratamento. A confirmação dessa hipótese requer análises

experimentais adicionais relacionadas à quantificação desses carboidratos estruturais.

Assim como para os demais metabólitos analisados, não foi encontrada uma relação clara entre a alteração no teor de açúcares redutores e a germinação das sementes secas por ventilação forçada até atingirem um teor de água de 35%. Ao longo de 12 meses de armazenamento, a taxa de germinação das sementes permaneceu constante, independentemente das diferentes condições de secagem e teor de água utilizados.

### 3.5 Açúcares não redutores

Da mesma forma que foi observado para o teor de açúcares solúveis totais, a análise de variância (Anova) não revelou interação entre os fatores estudados no teor de açúcares não redutores das sementes. No entanto, foram encontrados efeitos independentes do teor de água e do tempo de armazenamento sobre essa variável. As sementes submetidas à secagem até o teor de água de 35% apresentaram menores teores de açúcares não redutores em relação às sementes submetidas à secagem até os teores de água de 20 e 14% (Tabela 5). Conforme discutido anteriormente em relação aos açúcares solúveis totais, é provável que o menor teor de açúcares não redutores nessas sementes esteja relacionado ao seu maior teor de água, o que manteve o metabolismo ativo e favoreceu o consumo desses carboidratos.

Tabela 5- Teor de açúcares não redutores de sementes de café (%), de acordo com o teor de água final após a secagem.

Teor de água após a secagem (%)	Açúcares não redutores (%)
35	1,88 b
20	2,71 a
14	2,99 a
CV (%)	23,52

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas colunas não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); CV: coeficiente de variação.

Para o efeito do tempo de armazenamento nos açúcares redutores, ajustou-se o modelo para efeito linear decrescente, com  $r^2$  de 82,20%, indicando redução desses compostos durante o armazenamento das sementes (Figura 4).

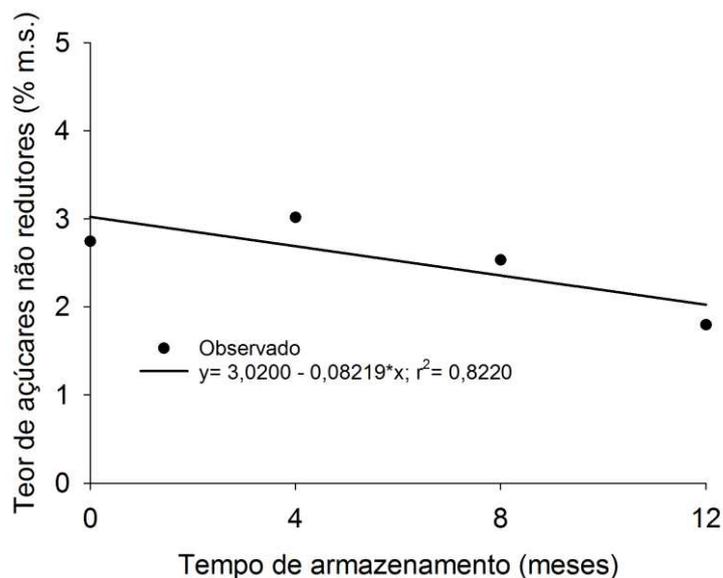


Figura 4- Teor de açúcares não redutores (%) de sementes de café, em função do tempo de armazenamento.

m.s.: massa seca; \*Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Deve-se notar que o comportamento dos açúcares não redutores durante o armazenamento das sementes de café foi semelhante ao comportamento dos açúcares solúveis totais. Isso porque o principal açúcar solúvel encontrado nas sementes de café é a sacarose, um açúcar não redutor (Chabrillange et al., 2000). Portanto, como explicado para os açúcares solúveis totais, é possível que esse açúcar tenha sido consumido pelo metabolismo das sementes que permaneceu ativo durante o armazenamento.

### 3.6 Análises anatômicas e histoquímicas

A análise das fotomicrografias do endosperma das sementes de café antes e após o armazenamento por doze meses revelou que as sementes mantiveram estruturas celulares semelhantes entre métodos de secagem e teores de água (Figura 5).

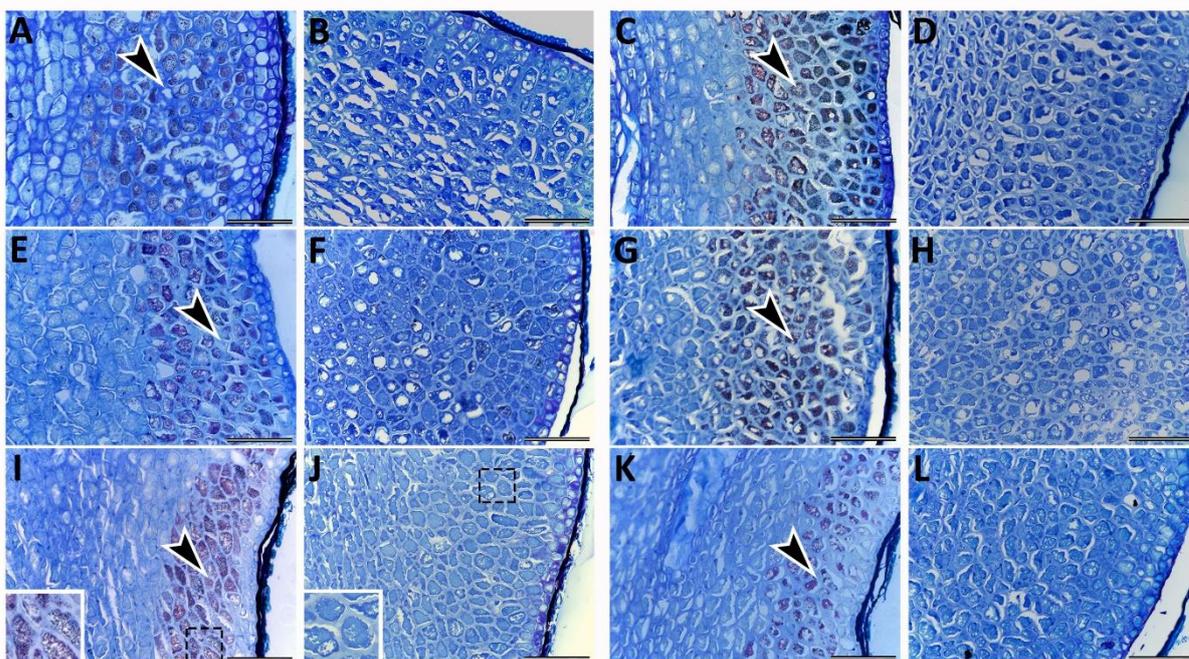


Figura 5 - Cortes transversais do endosperma de sementes de café submetidas a diferentes métodos de secagem e teor de água, sem armazenar (zero) e após doze meses de armazenamento. Sementes secas a pleno sol em terreiro suspenso até teores de água de 14, 20 e 35% não armazenadas (A, E e I); sementes secas a pleno sol em terreiro suspenso até teores de água de 14, 20 e 35% armazenadas por doze meses (B, F e J); sementes secas por ventilação forçada à sombra até teores de água de 14, 20 e 35% não armazenadas (C, G e K); sementes secas por ventilação forçada à sombra até teores de água de 14, 20 e 35% armazenadas por doze meses (D, H e L), coradas com azul de toluidina. Barras = 200  $\mu$ m. As setas indicam a presença de grânulos de coloração roxa nas sementes não armazenadas em comparação com a sementes armazenadas por doze meses. Área em destaque nas figuras I e J estão ampliadas na porção inferior esquerda, evidenciando a diferença na constituição do conteúdo celular devido ao efeito de metacromasia.

Este resultado concorda com o que foi observado para a qualidade fisiológica, uma vez que a porcentagem de germinação das sementes para cada método de secagem e teor de água adotados no estudo não se alterou durante os doze meses de armazenamento.

A análise das fotomicrografias apresentadas na Figura 5 também revelou uma diferença entre as sementes sem armazenamento e as armazenadas por doze meses. Independentemente do método de secagem e teor de água, nas sementes sem armazenamento, pode-se observar a presença de um conteúdo granular de coloração roxa entre a terceira e décima camadas de células do endosperma. Após doze meses de armazenamento, esse conteúdo não é mais observado, indicando que foi consumido ou degradado. Devido às limitações da análise, não foi possível determinar a composição desse conteúdo. Além disso, como a germinação das sementes não se alterou durante o armazenamento, nenhuma correlação com a viabilidade das sementes pode ser estabelecida. Porém, como houve diminuição do vigor das sementes durante o armazenamento (dados apresentados no Capítulo I), é possível que a degradação desse composto esteja de alguma forma relacionada à qualidade fisiológica. Portanto, mais análises são necessárias para tentar identificar esse composto e sua possível relação com a diminuição do vigor das sementes de café armazenadas.

### **3.7 Considerações finais**

Os métodos de secagem adotados não parecem afetar as concentrações de carboidratos e proteínas solúveis nas sementes de café. No entanto, ocorreram mudanças significativas nesses compostos durante o armazenamento dessas sementes. O efeito do teor de água no teor de carboidratos da semente também foi significativo. Essas observações indicam a manutenção de um metabolismo ativo nessas sementes durante o armazenamento. Como a germinação das sementes de café permaneceu inalterada por até doze meses de armazenamento, não foi possível estabelecer relação entre esses compostos e a viabilidade das sementes. A determinação dos compostos relacionados a estas diferenças e seus potenciais efeitos na germinação de sementes de café demanda um estudo de composição

química concomitante à fisiologia de sementes. Outros questionamentos e hipóteses são levantados como: a manutenção desse metabolismo ativo poder ser benéfica para manter a germinação das sementes armazenadas? A redução do vigor das sementes está relacionada a manutenção desse metabolismo? As respostas a estes questionamentos derivados de nossas observações podem impactar de forma positiva a produção de sementes de café. Estas respostas também podem contribuir para explicar a grande variabilidade dos resultados de experimentos envolvendo a secagem e armazenamento de sementes de café.

#### **4. CONCLUSÕES**

O armazenamento afetou o teor de proteínas e açúcares solúveis das sementes de café.

Independentemente do método de secagem utilizado (pleno sol em terreiro suspenso ou ventilação forçada à sombra) e dos teores de água finais após a secagem (35, 20 e 14%), a integridade das células do endosperma das sementes de café foi preservada após doze meses de armazenamento.

Houve alguma atividade metabólica nas sementes armazenadas, ainda que sem influencia na germinação das sementes em nossas condições experimentais. Estas diferenças foram caracterizadas pelo decréscimo de açúcares solúveis, aumento de proteínas solúveis e alterações no conteúdo das células do endosperma. Uma abordagem mais acurada será necessária para confirmar e avaliar o significado dessas diferenças.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABBADE, L. C.; TAKAKI, M. Biochemical and physiological changes of *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Bignoniaceae) seeds under storage. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p. 100-107, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/9RwhTDnCrXbRPg7ZmXDyHYd/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- ABREU, L. A. D. S.; VEIGA, A. D.; VON PINHO, É. V. D. R.; MONTEIRO, F. F.; ROSA, S. D. V. F. D. Behavior of coffee seeds to desiccation tolerance and storage. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 4, p. 399-406, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n41008>.
- AGUIRRE, M.; KIEGLE, E.; LEO, G.; EZQUER, I. Carbohydrate reserves and seed development: An overview. **Plant reproduction**, v. 31, n. 3, p. 263-290, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00497-018-0336-3>.
- ALI, M.; HOMANN, T.; KREISEL, J.; KHALIL, M.; PUHLMANN, R.; KRUSE, H. P.; RAWEL, H. Characterization and modeling of the interactions between coffee storage proteins and phenolic compounds. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 46, p. 11601-11608, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf303372a>.
- ARCILA-PULGARÍN, J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; MEIER, U.; WICKE, H. Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). **Annals of Applied Biology**, v. 141, n. 1, p. 19-27, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>.
- BEWLEY, J. D., BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W.; NONOGAKI, H. Longevity, storage, and deterioration. In: BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of Development and Germination**. New York: Springer, 2013. p. 341-376.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dyebinding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CHABRILLANGE, N.; DUSSERT, S.; ENGELMANN, F.; DOULBEAU, S.; HAMON, S. Desiccation tolerance in relation to soluble sugar contents in seeds of ten coffee (*Coffea* L.) species. **Seed Science Research**, v. 10, n. 3, p. 393- 396, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258500000428>.

COELHO, S. V. B.; FIGUEIREDO, M. A. D.; CLEMENTE, A. D. C. S.; COELHO, L. F. S.; ROSA, S. D. V. F. D. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café secas em sílica gel e soluções salinas saturadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 6, p. 483-491, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000600007>.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.028>.

EICHELBERGER, L.; MAIA, M. D. S.; PESKE, S. T.; MORAES, D. M. D. Composição química de sementes de azevém em resposta ao retardamento da secagem e ao armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 693-701, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500015>.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 9, p. 1167-1174, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/41.9.1167>.

GONÇALVES, C.; RODRIGUES-JASSO, M. R.; GOMES, N.; TEIXEIRA, J. A.; BELO, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. **Analytical Methods**, v. 2, n. 12, p. 2046-2048, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1039/C0AY00525H>.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill Book. 523p. 1940. (O'Brien et al., 1964).

KAPOOR, N.; ARYA, A.; SIDDIQUI, M.; AMIR, A.; KUMAR, H. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. **Asian Journal of Plant Sciences**, Faisalabad v. 9, p. 158, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.158.162>.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. D. S.; PEREIRA, L. F. P.; SILVA, J. B. G. D.; BENASSI, M. D. T. Profile of the diterpenes, lipid and protein content of different coffee cultivars of three consecutive harvests. **AIMS Agriculture and Food**, v. 1, n. 3, p. 254-264, 2016. DOI: [10.3934/agrfood.2016.3.254](https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.3.254).

MARTINEZ-MALDONADO, F. E.; MIRANDA-LASPRILLA, D.; MAGNITSKIY, S.; MELGAREJO, L. M. Germination, protein contents and soluble carbohydrates during storage of sugar apple seeds (*Annona squamosa* L.). **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 88, n. 1, p. 308-313, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.044>.

MONCALEANO-ESCANDON, J.; SILVA, B. C., SILVA, S. R.; GRANJA, J. A.; ALVES, M. C. J.; POMPELLI, M. F. Germination responses of *Jatropha curcas* L. seeds to storage and aging. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 684-690, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.035>.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; McCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, p. 368-373, 1964. Disponível em: [http://www.cas.miamioh.edu/~meicenrd/Anatomy/Ch4\\_Histology/Polychromatic%20staining%20of%20plant%20cell%20walls%20by%20toluidine%20blue%20O.pdf](http://www.cas.miamioh.edu/~meicenrd/Anatomy/Ch4_Histology/Polychromatic%20staining%20of%20plant%20cell%20walls%20by%20toluidine%20blue%20O.pdf).

Acesso em: 7 mar. 2021.

OLIVEIRA, L. A.; SOUZA, G. A.; SILVA, B. T.; ROCHA, A. A. G.; PICOLI, E. A. T.; PEREIRA, D. S.; DONZELES, S. M. L.; RIBEIRO, M. F.; FERREIRA, W. P. M. Histochemical approach of the mobilization of reserve compounds in germinating coffee seeds. **Coffee Science**, v. 15, p. e151704, 2020. DOI: <https://doi.org/10.25186/.v15i.1704>.

PÁDUA, G.; OLIVEIRA D.; FÉLIX, F.; MACÊDO, C.; VOIGT, E.; FERRARI, C.; PACHECO, M. V. Alterações fisiológicas e bioquímicas de sementes de *Acacia mangium* Willd. durante o armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 4, p. 1000-1009, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17552>.

PENIDO, A. C.; REIS, V. U. V.; REZENDE, E. M. D.; ROCHA, D. K.; OLIVEIRA, J. A.; ROSA, S. D. V. F. D. Cold coffee seeds storage with different water content. **Coffee Science**, v. 16, p. e161844, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25186/.v16i.1844>.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. D. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, v. 147, p. 279-286, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.123>.

ROSENTAL, L.; NONOGAKI, H.; FAIT, A. Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. **Seed science research**, v. 24, n. 1, p. 1-15, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258513000391>.

SAS. **SAS Software**. Version 9.4. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 2014.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. The storage of green coffee (*Coffea arabica*): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, v. 101, n. 1, p. 31-38, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm277>.

TAN-WILSON, A. L.; WILSON, K. A. Mobilization of seed protein reserves. **Physiologia Plantarum**, v. 145, n. 1, p. 140-153, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01535.x>.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; PEREIRA, C. E.; CARVALHO, F. E. D. Armazenamento de sementes de cafeeiro: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 76-82, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100011>.

ZHANG, K.; ZHANG, Y.; SUN, J.; MENG, J.; TAO, J. Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 475-485, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.031>.

ZIEGLER, P. Carbohydrate degradation during germination. *In*: KIGEL, J.; GALILI, G. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 447-474.

## APÊNDICE A- Capítulo I

Tabela A1- Resumo da análise de variância para a variável germinação.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	4,13	0,17	0,6789
<b>TA</b> <sup>ns</sup>	2	1,44	0,06	0,9412
<b>T</b> <sup>ns</sup>	3	40,98	1,72	0,1753
<b>S x TA</b> *	2	87,86	3,69	0,0325
<b>S x T</b> <sup>ns</sup>	3	27,35	1,15	0,3390
<b>TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	7,54	0,32	0,9247
<b>S x TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	24,17	1,02	0,4265
<b>Resíduo</b>	46	1093,83		
<b>TOTAL</b>	69			
<b>CV (%)</b>	6,23			

ns- não significativo; \* e \*\* - significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela A2- Resumo da análise de variância para a variável protrusão radicular.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> *	1	31,56	7,10	0,0106
<b>TA</b> *	2	20,44	4,60	0,0151
<b>T</b> **	3	407,93	91,76	< 0,0001
<b>S x TA</b> **	2	86,94	19,56	< 0,0001
<b>S x T</b> *	3	13,28	2,99	0,0407
<b>TA x T</b> **	6	28,56	6,42	< 0,0001
<b>S x TA x T</b> **	6	49,61	11,16	< 0,0001
<b>Resíduo</b>	46	204,50		
<b>TOTAL</b>	69			
<b>CV (%)</b>	2,33			

ns- não significativo; \* e \*\* - significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela A3- Resumo da análise de variância para a variável comprimento de plântulas.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	0,11	0,44	0,5123
<b>TA</b> *	2	1,22	4,87	0,0118
<b>T</b> **	3	10,85	43,81	< 0,0001
<b>S x TA</b> <sup>ns</sup>	2	0,44	1,77	0,1816
<b>S x T</b> <sup>ns</sup>	3	0,22	0,88	0,4586
<b>TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,43	1,73	0,1344
<b>S x TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,34	1,38	0,2428
<b>Resíduo</b>	48	0,11		
<b>TOTAL</b>	71			
<b>CV (%)</b>	7,7			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela A4- Resumo da análise de variância para a variável massa de matéria seca de plântulas.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	1,05125	1,69	0,1992
<b>TA</b> **	2	4,28167	6,90	0,0023
<b>T</b> **	3	16,35162	26,36	< 0,0001
<b>S x TA</b> <sup>ns</sup>	2	1,04000	1,68	0,1978
<b>S x T</b> <sup>ns</sup>	3	0,99607	1,61	0,2004
<b>TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,51370	0,83	0,5541
<b>S x TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,93981	1,51	0,1936
<b>Resíduo</b>	48	29,78000		
<b>TOTAL</b>	71			
<b>CV (%)</b>	3,77			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela A5- Resumo da análise de variância para a variável emergência de plântulas.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S **</b>	1	421,23	42,80	< 0,0001
<b>TA<sup>ns</sup></b>	2	7,39	0,75	0,4802
<b>T **</b>	2	969,02	98,45	< 0,0001
<b>BLOCO<sup>ns</sup></b>	2	5,42	0,55	0,5820
<b>S x TA **</b>	2	114,57	11,64	0,0002
<b>S x T **</b>	2	110,23	11,20	0,0002
<b>TA x T<sup>ns</sup></b>	4	22,76	2,31	0,0789
<b>S x TA x T **</b>	4	41,88	4,25	0,0071
<b>Resíduo</b>	32	314,96		
<b>TOTAL</b>	51			
<b>CV (%)</b>	3,57			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela A6- Resumo da análise de variância para a variável Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE).

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S **</b>	1	0,17	38,66	< 0,0001
<b>TA*</b>	2	0,02	4,98	0,0131
<b>T **</b>	2	1,45	330,28	< 0,0001
<b>BLOCO **</b>	2	0,05	12,09	0,0001
<b>S x TA **</b>	2	0,04	8,92	0,0008
<b>S x T **</b>	2	0,04	8,72	0,0010
<b>TA x T *</b>	4	0,01	2,72	0,0466
<b>S x TA x T **</b>	4	0,02	4,41	0,0059
<b>Resíduo</b>	32	0,14		
<b>TOTAL</b>	51			
<b>CV (%)</b>	5,02			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

## APÊNDICE B- Capítulo II

Tabela B1- Resumo da análise de variância para a variável teor de proteínas solúveis.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	24,71	3,66	0,0618
<b>TA</b> <sup>**</sup>	2	41,84	6,19	0,0040
<b>T</b> <sup>**</sup>	3	333,16	49,33	< 0,0001
<b>S x TA</b> <sup>ns</sup>	2	13,15	1,95	0,1537
<b>S x T</b> <sup>ns</sup>	3	3,25	0,48	0,6972
<b>TA x T</b> <sup>**</sup>	6	25,00	3,70	0,0042
<b>S x TA x T</b> <sup>**</sup>	6	23,86	3,53	0,0056
<b>Resíduo</b>	48	324,20		
<b>TOTAL</b>	71			
<b>CV (%)</b>	20,02			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela B2- Resumo da análise de variância para a variável teor de açúcares solúveis totais.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	0,09	0,23	0,6369
<b>TA</b> <sup>**</sup>	2	7,82	18,64	< 0,0001
<b>T</b> <sup>**</sup>	3	3,66	8,73	0,0001
<b>S x TA</b> <sup>ns</sup>	2	0,69	1,64	0,2049
<b>S x T</b> <sup>ns</sup>	3	0,46	1,10	0,3600
<b>TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,39	0,93	0,4834
<b>S x TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,55	1,32	0,2667
<b>Resíduo</b>	48	20,13		
<b>TOTAL</b>	71			
<b>CV (%)</b>	19,85			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela B3- Resumo da análise de variância para a variável teor de açúcares não redutores.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	0,09	0,25	0,6200
<b>TA</b> <sup>**</sup>	2	8,38	23,59	< 0,0001
<b>T</b> <sup>**</sup>	3	4,52	12,73	< 0,0001
<b>S x TA</b> <sup>ns</sup>	2	0,48	1,36	0,2656
<b>S x T</b> <sup>ns</sup>	3	0,27	0,75	0,5296
<b>TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,41	1,17	0,3402
<b>S x TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,37	1,05	0,4041
<b>Resíduo</b>	47			
<b>TOTAL</b>	70			
<b>CV (%)</b>	23,52			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.

Tabela B4- Resumo da análise de variância para a variável teor de açúcares redutores.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>S</b> <sup>ns</sup>	1	0,00	0,08	0,7728
<b>TA</b> <sup>ns</sup>	2	0,02	1,49	0,2366
<b>T</b> <sup>**</sup>	3	0,14	11,35	< 0,0001
<b>S x TA</b> <sup>ns</sup>	2	0,02	1,89	0,1628
<b>S x T</b> <sup>*</sup>	3	0,04	3,46	0,0235
<b>TA x T</b> <sup>ns</sup>	6	0,03	2,2	0,0595
<b>S x TA x T</b> <sup>**</sup>	6	0,04	3,23	0,0098
<b>Resíduo</b>	47	0,59		
<b>TOTAL</b>	70			
<b>CV (%)</b>	15,26			

ns- não significativo; \* e \*\*- significativo pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. FV- fonte de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrado médio. S- método de secagem; TA- teor de água; T- tempo de armazenamento; CV- coeficiente de variação.