



MARCOS VINÍCIOS DE CARVALHO

**TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM
SEMENTES DE CAFÉ**

LAVRAS – MG

2019

MARCOS VINÍCIOS DE CARVALHO

TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE CAFÉ

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa
Orientadora

Tatiana Botelho Fantazzini
Coorientadora

LAVRAS – MG

2019

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

de Carvalho, Marcos Vinícios.

Teste de envelhecimento acelerado em sementes de café /
Marcos Vinícios de Carvalho. - 2019.

72 p. : il.

Orientadora: Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa.

Coorientadora: Tatiana Botelho Fantazzini.

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

Bibliografia.

1. *Coffea arábica*. 2. Análise. 3. Controle de qualidade. I. da
Rosa, Sttela Dellyzete Veiga Franco. II. Fantazzini, Tatiana
Botelho. III. Título.

MARCOS VINÍCIOS DE CARVALHO

TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE CAFÉ

ACCELERATED AGING TEST ON COFFEE SEEDS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 8 de julho de 2019.

Dra. Patrícia de Oliveira Alvim Veiga

IFSULDEMINAS

Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires

UFLA

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa
Orientadora

Tatiana Botelho Fantazzini
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2019**

*A Deus, por me iluminar e me guiar em todos os momentos.
À minha família, meu alicerce, pela garra, apoio, atenção, ensinamentos e
amor a toda hora e à Luísa pelo amor e companheirismo nesta jornada.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proteger, iluminar-me e guiar-me sempre, permitindo-me alcançar tantas graças, realizar sonhos, ter uma família e amigos que amo.

Aos meus pais, José Laercio e Nilza Helena, pela força, fibra, perseverança, para que eu pudesse realizar este sonho; agradeço-lhes por seus ensinamentos e conselhos, pela formação de meu caráter e auxílio em minhas perspectivas de vida, pelo amor e atenção dedicados, em todos os momentos, por acreditarem e confiarem em mim.

À minha irmã Marcela, por estar sempre ao meu lado me ajudando, em momentos de dificuldades, pela proteção, pelo apoio e compreensão.

Ao meu amor Luísa, minha companheira e amiga nesta caminhada, por todo o incentivo e motivação, por me fazer crer que eu venceria e por todo seu esforço, para estar ao meu lado, alegrando-me com sua companhia.

À minha família, avós, tios, tias, primos e primas, que contribuíram à minha trajetória, com conselhos valiosos e orações em momentos de aflição.

À República Sem Porteira, minha segunda família, amigos que fiz para a vida, onde fui acolhido com estima e amizade.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, de maneira especial, ao Setor de Sementes, por ter-me acolhido e permitir a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Dra. Sttela Dellyzete, pela orientação, ensinamentos, dedicação e incentivos, que foram essenciais ao meu desenvolvimento como pessoa e como profissional.

À minha coorientadora, Dra. Tatiana Fantazzini, pela transmissão de ensinamentos e apoio na condução dos trabalhos.

À banca examinadora, pela avaliação deste estudo.

À Marli, secretária de pós-graduação da Fitotecnia, pela atenção e colaboração.

À “Turma da Sttela”, pelos trabalhos realizados juntos, pelos momentos de descontração, pela amizade e vínculo, pelas brincadeiras e companheirismo.

Aos amigos e companheiros de pesquisa, em especial, aos graduandos Ricardo, Tobias, Julia, Venícius e Gabriel pela ajuda e convivência.

Aos mestres, doutores e pós-doutores, Madeleine, Stefania, Cristiane, Valquíria, Tatiana, Tina, Marcela e Ana por proporcionarem aprendizado e prática com o desenvolvimento dos projetos e pela grande ajuda prestada.

Ao NESEM, pelo vínculo, reuniões e momentos proporcionados.

Aos professores e pesquisadores do Setor de Sementes, João Almir, Renato, Édila, Maria Laene, Raquel, Everson e Heloisa pela disposição.

Aos funcionários do Setor de Sementes, Geraldo, Jaqueline, Viviane e Dalva, por serem tão prestativos.

À banca examinadora, pela avaliação deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À EMBRAPA, ao INCT e às instituições de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

À PROCAFE pelo fornecimento de materiais de pesquisa.

Enfim, a todos que fizeram parte de minha trajetória e contribuíram para a realização de mais uma etapa em minha vida.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O café é comumente propagado, por meio de mudas produzidas por sementes, as quais apresentam germinação lenta e desuniforme, o que dificulta a produção de mudas com desejável padrão de qualidade, no momento ideal do plantio. No entanto os testes oficiais exigidos, para a comercialização, fornecem poucas informações sobre a qualidade das sementes. Neste sentido, o teste de envelhecimento acelerado tem se mostrado uma ferramenta importante utilizada, no controle de qualidade interno pelas empresas sementeiras, pois é um método sensível à avaliação do vigor, fornecendo informações confiáveis sobre o potencial fisiológico, assegurando tomada de decisões mais assertivas quanto ao destino dos lotes. Entretanto, para sementes de café, há poucas informações quanto ao seu uso e eficiência como teste de vigor. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar métodos adequados do teste de envelhecimento acelerado para a avaliação do vigor de sementes de *Coffea arábica*. Dois estudos foram realizados, sendo que, no primeiro, foram investigados diferentes temperaturas e tempos de exposição, para a realização do teste de envelhecimento acelerado em sementes de *Coffea arabica*. No segundo estudo, as melhores combinações de temperatura e tempos de exposição foram testados, em diferentes lotes de diferentes cultivares, na avaliação do vigor de lotes de sementes de *Coffea arábica*. Para o primeiro estudo, foram utilizados dois lotes de sementes de *Coffea arabica* L., cultivar Catucaí Amarelo IAC/62, três temperaturas de incubação em BOD (42°C, 44°C e 46°C) e nove tempos de exposição (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 horas). Para o segundo estudo, foram utilizados sete lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arabica* L., cultivar Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaiam, Asa Branca, Acauã, Arara, Guará e Topázio, duas temperaturas de incubação em BOD (44°C e 46°C) e quatro tempos de exposição (24, 48, 72, 96 horas). Para ambos os estudos, foi utilizado o método do gerbox. Foi feita uma caracterização inicial dos lotes, para comparar com os resultados obtidos, no teste de envelhecimento acelerado. Após cada período de envelhecimento, foi determinado o teor de água das sementes e foi realizada a avaliação da qualidade fisiológica, no teste de germinação, pela porcentagem de plântulas normais aos 30 dias. No primeiro estudo, concluiu-se que a temperatura de 42°C promove uma deterioração lenta das sementes, não sendo indicada à avaliação do vigor de sementes de *Coffea arábica* e que a temperatura de 44°C, após 72 horas de exposição e a temperatura de 46°C entre os períodos de 48 a 96 horas de exposição, são sensíveis para a avaliação vigor de sementes de *Coffea arábica* L. No segundo estudo, concluiu-se que o teste de envelhecimento acelerado, realizado em uma temperatura de 46°C, por 48 horas, é a combinação mais adequada para comparar lotes de sementes de *Coffea arábica* com diferentes níveis de vigor.

Palavras-chave: *Coffea arábica*. Análise. Controle de qualidade.

ABSTRACT

Coffee is commonly propagated by seedlings produced by seeds, which present slow and non-uniform germination. Thus, seedlings production with desirable quality standards at the ideal time of planting is of great importance. The official tests required for marketing provide little information on the quality of the seeds. In this sense, the accelerated aging test has shown to be an important tool used in the internal quality control by the sowing companies, because it is a sensitive method for vigor evaluation. It provides reliable information on the physiological potential, ensuring more assertive decision-making about the fate of lots. However, for coffee seeds, there is little information regarding its use and efficiency as a vigor test. In this context, the objective of this study was to investigate appropriate methods of the accelerated aging test to evaluate the vigor of *Coffea arabica* seeds. Two studies were performed. Firstly, different temperatures and exposure times were investigated to perform the accelerated aging test in seeds of *Coffea arabica*. In the second study, the best combinations of temperature and exposure times were tested in different batches of different cultivars in the evaluation of the vigor of seed lots of *Coffea arabica*. For the first study, two seed lots of *Coffea arabica* L., cultivar Catucaí Yellow IAC/62, three incubation temperatures in BOD (42, 44 and 46 °C) and nine exposure times (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 and 192 hours) were used. For the second study, seven seed lots of seven different cultivars of *Coffea Arabica* L.: cultivar Catucaí Yellow 2 SL, Catucaí, Asa Branca, Acauã, Arara, Guará and Topázio, as well as two incubation temperatures in BOD (44 and 46 °C) and four exposure times (24, 48, 72 and 96 hours) were evaluated. The Gerbox method was used for both studies. An initial characterization of the batches was carried out to compare with the results obtained in the accelerated aging test. After each aging period, the seed water content was determined and the physiological quality was evaluated in the germination test by the percentage of normal seedlings at 30 days. In the first study, it was concluded that the temperature of 42 °C promoted a slow deterioration of the seeds, not being indicated for the evaluation of seed vigor of *Coffea arabica*. The temperature of 44 °C is promising for the evaluation of vigor after 72 hours of exposure. The temperature of 46 °C is sensitive to evaluate the deterioration between the periods of 48 to 96 hours of exposure. In the second study, it was concluded that the accelerated aging test performed at 46 °C for 48 hours was the most appropriate combination to compare lots of seeds of *Coffea arabica* with different vigor levels.

Key words: *Coffea Arabica*. Analysis. Quality control.

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Caracterização da qualidade inicial de lotes de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, pelas variáveis viabilidade (VB), germinação (G), protrusão radicular (PR), plântulas normais fortes (PNF), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE).....34
- Tabela 2 - Teor de água (%) de lotes de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, após o envelhecimento acelerado, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD..... 35
- Tabela 3 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 1, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.....36
- Tabela 4 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 2, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.....37

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Caracterização da qualidade inicial de sementes de lotes de sete cultivares de *Coffea arábica* pelas variáveis, germinação (G), viabilidade (VB), protrusão radicular (PR), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), condutividade elétrica (CE) e emergência de plântulas (E).53
- Tabela 2 - Teor de água inicial e, após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arábica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46 °C e períodos de 24, 48, 72 e 96 horas de incubação em BOD.54
- Tabela 3 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete lotes de *Coffea arábica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46 °C e períodos de 24, 48, 72 e 96, horas de incubação em BOD.55

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Figura 1 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 1, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.....38

Figura 2 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 2, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.....39

ARTIGO 2

Figura 1- Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arábica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46°C e períodos de 24, 48, 72 e 96, horas de incubação em BOD.....56

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Caracterização do café (<i>Coffea arabica</i> L)	14
2.2 Armazenamento de sementes de café	15
2.3 Teste de envelhecimento acelerado	16
2.4 Metodologias do Teste de Envelhecimento Acelerado	18
REFERÊNCIAS	21
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	26
ARTIGO 1 - ESTUDO DE METODOLOGIAS DO TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE <i>Coffea arabica</i> L.....	26
1 INTRODUÇÃO	28
2 MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1 Colheita dos frutos e obtenção das sementes	31
2.2 Avaliações Fisiológicas	31
2.3 Delineamento experimental e análises estatísticas	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
3.1 Qualidade fisiológica dos lotes de sementes de café	34
3.2 Teste de envelhecimento acelerado	34
4 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42
ARTIGO 2 - TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM DIFERENTES LOTES DE SEMENTES DE <i>Coffea arábica</i> L.....	45
1 INTRODUÇÃO	47
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 Testes fisiológicos.....	49
2.2 Delineamento experimental e análises estatísticas	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
3.1 Caracterização fisiológica dos lotes de sementes	52
3.2 Teste de envelhecimento acelerado	54
4 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61
ANEXO A - TABELAS.....	64

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos mais importantes no mercado internacional e o Brasil é líder absoluto na produção mundial. É uma cultura tradicional na agricultura brasileira e de indiscutível importância socioeconômica para o país, com uma produção de, aproximadamente, 47,5 milhões de sacas e uma produtividade média de 31,72 sacas/ha em 2018. Em 2019, as estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento são de que a produção fique por volta de 38,2 milhões de sacas, com uma produtividade média de 26,06 sacas/ha. A área de lavouras, em produção, é de 1.464.210,0 hectares e 278452,0 hectares de lavoura, em formação ou renovação, correspondendo, quase a 16% da área total plantada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019).

Na última década, houve um crescimento na área destinada à renovação ou ao plantio de novas lavouras, saindo de 8,6%, em 2008, para 16% em 2019. Nos últimos cinco anos, a média de área em formação foi de 15,3%. Para suprir a demanda de mudas, no ano de 2019, seriam necessárias, aproximadamente, 1,4 bilhões de mudas, considerando-se uma densidade média de 5 mil plantas por hectare.

Diante disso, verifica-se que o mercado cafeeiro demanda de grande quantidade de mudas, como o principal meio de propagação da espécie *Coffea arabica* L. por meio de semeadura de sementes. Em consequência, há uma necessidade crescente de produzir sementes de qualidade, a fim de atender um mercado de mudas de café cada vez mais exigente. Dada a importância atual e potencial do café, para o setor agropecuário do Brasil, aliado ao avanço da tecnologia e da informação no campo, torna-se importante a realização de estudos relacionados ao controle de qualidade das sementes.

No entanto sementes do gênero *Coffea* apresentam algumas limitações; sua conservação é bastante limitada, em razão de suas características intermediárias e recalcitrantes quanto à tolerância à dessecação e ao seu comportamento durante o armazenamento (ELLIS; HONG; ROBERTS, 1990; KING; ROBERTS 1979). Pelo comportamento intermediário da espécie *Coffea arabica* L., sementes dessa espécie apresentam baixa longevidade, constituindo-se uma das maiores dificuldades encontradas pelos produtores e tecnólogos de sementes, uma vez que as condições de armazenamento podem causar danos irreversíveis à viabilidade (VIEIRA et al., 2007).

Ainda, para a maioria das culturas propagadas por sementes, nem sempre a época de colheita coincide com a época mais adequada para a semeadura e, por este motivo, as sementes são armazenadas para a manutenção de sua qualidade fisiológica (SOUZA et al., 2007). Assim, o armazenamento adequado à espécie é uma forma segura e econômica de conservação da diversidade genética vegetal, além de reduzir a velocidade da deterioração, um processo natural e irreversível de desestruturação física e perda de qualidade fisiológica (CARVALHO et al., 2006; MARTINS; BOVI; NAKAGAWA, 2007; SCALON et al., 2006; SOUZA; BRUNO; ANDRADE, 2005).

A conservação da qualidade das sementes de café, durante o armazenamento, tem sido um dos maiores desafios aos produtores de sementes, visto que elas perdem rapidamente a viabilidade, não mantendo o poder germinativo, em níveis satisfatórios, por períodos superiores a seis meses após a colheita (ARAÚJO et al., 2008). Neste sentido, é desejável obter informações que possam inferir sobre o potencial de armazenamento de lotes de sementes de café, para que possam ser armazenadas com maior segurança, seja para aperfeiçoar a produção de mudas ou para a tomada decisão sobre o destino dos lotes, a fim de garantir a sua longevidade em médio e longo prazo, durante o armazenamento.

O teste de vigor é uma ferramenta importante utilizada, no controle de qualidade interno pelas empresas sementeiras na determinação do potencial fisiológico, auxiliando nas tomadas de decisão sobre o destino dos lotes.

Além disso, os testes de vigor buscam obter respostas complementares às fornecidas pelo teste de germinação, possibilitando a obtenção de informações consistentes (OHLSON et al., 2010). Sendo assim, o envelhecimento acelerado é um teste de vigor capaz de prever o nível de deterioração, o potencial de armazenamento e, às vezes, pode correlacionar com a emergência em campo, assim como também avaliar as diferenças fisiológicas de sementes de lotes diferentes, mas com germinação semelhante (LARRÉ; ZEPKA; MORAES, 2007; MILOŠEVIC; VUJAKOVIC; KARAGIC, 2010).

Dessa forma, o teste tem como finalidade dar suporte aos técnicos e produtores, nas tomadas de decisão, relacionadas ao destino dos lotes e, também, auxiliar como ferramenta na pesquisa. Embora o teste seja utilizado com sucesso, para a avaliação do vigor e para a previsão do armazenamento, em várias espécies, ainda existem poucas e contraditórias informações sobre o seu uso para sementes de café.

Assim, objetivou-se, com este trabalho, adequar a metodologia do teste de envelhecimento acelerado para a avaliação do vigor de sementes de *Coffea arabica* L.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização do café (*Coffea arabica* L)

O fruto de cafeeiro é uma drupa elipsoide que, geralmente, contém dois locos e duas sementes. O endocarpo, quando maduro, é coriáceo e envolve cada semente. Essas sementes, por sua vez, são plano-convexas, elípticas ou ovais, sulcadas longitudinalmente na face plana e constituem-se de embrião, endosperma e película prateada ou espermoderma (RENA; MAESTRI, 1986).

A semente de *Coffea arabica* apresenta teores entre 55 a 65,5% de carboidratos; 8 a 11% de ácidos, sendo encontrados os ácidos cítrico, málico, clorogênico, acético, butírico e valérico; 1 a 3% de lignina; 15 a 18% de lipídeos; 11 a 15% de compostos nitrogenados; 8,5 a 12% de proteína; 0,8 a 1,4% de cafeína e 3 a 5,4% de minerais (PIMENTA, 2003). A composição pode ser influenciada por diversos fatores, tais como genéticos, clima da região de cultivo, métodos de colheita e de pós-colheita das sementes (GODINHO et al., 2000; PIMENTA; COSTA; CHAGAS, 2000).

Outra característica das sementes de café é relativa à sua conservação, durante o armazenamento, o que tem sido uma das maiores preocupações dos produtores de sementes, já que elas não mantêm seu poder germinativo, em percentuais satisfatórios, por períodos superiores a seis meses, em condições de temperatura ambiente após a colheita. Em decorrência dessa dificuldade, os produtores têm a necessidade de utilizar sementes recém-colhidas, para a formação de mudas, o que acarreta na implantação da lavoura em épocas que nem sempre são as indicadas para o plantio.

Informações mais detalhadas sobre o vigor das sementes possibilitam aos técnicos avaliações mais assertivas quanto ao potencial fisiológico e o nível de deterioração dos lotes, podendo inferir sobre o seu potencial de armazenamento. Dessa forma, permite tomadas de decisões mais adequadas sobre o destino dos lotes de sementes, sempre visando a sementes de qualidade, para a formação de mudas vigorosas, a fim de serem ofertadas no período que oferece condições climáticas ideais para o plantio. Assim, propicia ao agricultor maior segurança no momento da implantação da lavoura.

2.2 Armazenamento de sementes de café

A deterioração é um processo determinado, por uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas, as quais se iniciam, a partir da maturidade fisiológica das sementes, em processo progressivo, determinando a queda de sua qualidade fisiológica e culminando com sua morte (MARCOS FILHO, 2005). Neste sentido, diversos são os fatores que influenciam na deterioração de sementes, dentre eles, a sua qualidade inicial, a temperatura, a umidade relativa do ar do ambiente, o teor de água na semente, as diferenças entre genótipos quanto ao nível de germinação e de vigor ao longo do armazenamento (MARTINS-FILHO et al., 2001). Além disso, o tipo de embalagem utilizada, para o acondicionamento das sementes, também, exerce influência sobre a sua longevidade, afetando a velocidade dos processos bioquímicos relacionados à deterioração (CARVALHO et al., 2016). Assim, a viabilidade da semente é determinada tanto por características genéticas quanto por efeitos ambientais, durante as fases de desenvolvimento, colheita, processamento e armazenamento (GRIS et al., 2010).

A espécie *Coffea arabica* L. apresenta sementes do tipo intermediárias quanto à tolerância à dessecação, o que dificulta o seu armazenamento. Ellis, Hong e Roberts (1990) verificaram que quatro cultivares de *C. arabica* não tiveram a germinação prejudicada, quando secadas até 10% de umidade, mas foram prejudicadas pelo armazenamento às temperaturas de 0°C e -20°C, comportamento característico da categoria intermediária. Sementes dessa categoria podem tolerar a desidratação até certo nível, mas têm sua armazenabilidade reduzida. Comportamento semelhante foi verificado por Vieira et al. (2007), em que a secagem rápida prejudicou o vigor e a viabilidade das sementes de café, independentemente do local de armazenamento e que, em condições de câmara fria a uma temperatura de 10°C e umidade relativa de 50%, é possível armazenar sementes sem secagem ou secadas lentamente, por nove meses.

Em estudo com *Coffea arabica* L., Pertel (2004) observou que as sementes de café armazenadas em condição ambiente perdem a viabilidade aos seis meses, enquanto, em câmara fria, ocorreu retardamento no processo de deterioração, conservando a germinação em torno de 70% aos 12 meses.

A longevidade das sementes está intrinsecamente ligada à tolerância à dessecação. Na maioria das espécies, essa é adquirida, durante a maturação, podendo variar entre espécies e até mesmo em um mesmo lote de sementes (GROOT et al., 2003). Acredita-se que a tolerância à dessecação, provavelmente, não pode ser atribuída a um simples mecanismo de

proteção; ao contrário, ela parece ser um fenômeno multifatorial em que cada componente é igualmente crítico, agindo em sinergismo e controlado pelo genoma (LEPRINCE; HENDRY; MCKERSIE, 1993).

Muitas pesquisas são realizadas, para estudar a deterioração das sementes de café, com o intuito de definir tecnologias capazes de prolongar o período de conservação. Entretanto essas pesquisas necessitam de parâmetros para a sua avaliação, e o teste de envelhecimento acelerado é um teste sensível capaz de fornecer parâmetros seguros quanto ao potencial fisiológico das sementes. Segundo Silva, Lazarini e Sá (2010), o teste de envelhecimento acelerado pode servir como ferramenta, em programas de melhoramento genético, na seleção de cultivares com potencial de armazenamento. Além disso, o seu potencial, para prever o tempo de armazenamento, torna esse teste muito importante para o monitoramento de lotes de sementes.

Diante dessa problemática, é interessante fazer inferência sobre o potencial fisiológico e de armazenamento de sementes de café, seja para a tomada de decisão sobre o destino dos lotes de sementes, a fim de evitar o gasto de energia e esforços em lotes de baixa qualidade, ou como ferramenta na condução de experimentos, com o intuito promover análises mais profundas e conclusivas nesta área.

2.3 Teste de envelhecimento acelerado

O teste de envelhecimento acelerado foi desenvolvido por Delouche, em 1965 (ATAÍDE; FLORES; BORGES, 2012), para estimar o potencial relativo de armazenamento de lotes de trevo e de festuca. Delouche (1965) baseou-se nas pesquisas de Crocker e Graves, em 1915 e de Helmer, Delouche e Lienhard (1962), que estudaram a germinação de sementes de trevo previamente expostas à temperatura e à umidade relativa elevadas. Verificaram alta relação da resposta a essas condições com o vigor e a emergência das plântulas em campo, sugerindo que o "envelhecimento rápido ou acelerado" poderia ser muito útil para avaliar o potencial armazenamento das sementes. A metodologia foi estudada com maior profundidade e descrita com maiores detalhes por Delouche e Baskin (1973).

No Brasil, o primeiro estudo sobre a metodologia foi feito por Toledo (1966), que considerou o *rapid aging* um método promissor para a avaliação do vigor em sementes de algodão.

O princípio do teste de envelhecimento tem como base o fato de que a taxa de deterioração das sementes aumenta consideravelmente quando são submetidas à temperatura e

à umidade relativa elevadas, avaliados fatores ambientais importantes na intensidade e velocidade de deterioração. Portanto sementes que possuem pior qualidade fisiológica deterioram-se mais rapidamente e, em consequência, são menos vigorosas que as sementes de melhor qualidade fisiológica (PEREIRA; MARTINS FILHO; LAVIOLA, 2012).

O teste foi desenvolvido e refinado para avaliar o vigor e distinguir lotes de semente de várias espécies como o melão (TORRES; MARCOS-FILHO, 2003), caupi (DUTRA; VIEIRA, 2004), trigo (PEDROSO et al., 2010), Alface (BARBOSA; COSTA; SÁ, 2011), quiabo (TORRES et al., 2014), crambe (LIMA et al., 2015), rúcula (VIEIRA et al., 2015) e coentro (PEREIRA; TORRES; LINHARES, 2015), dentre outros.

O teste de envelhecimento é considerado um teste de vigor direto, de resistência e é internacionalmente reconhecido pela International Seed Test Association (ISTA, 1995) para a avaliação das sementes de soja. Integra muitas das importantes características desejadas em um teste de vigor, é rápido, econômico, simples e útil para todas as espécies (COPELAND; MCDONALD, 2001).

Podem ser utilizados três métodos, para a realização do teste de envelhecimento acelerado: o método da câmara, o método do gerbox e por solução saturada, sendo os dois últimos métodos os mais utilizados.

No método do gerbox, também conhecido como envelhecimento acelerado tradicional, são utilizadas caixas plásticas transparentes (11 x 11 x 3 cm), contendo 40 mL de água destilada, em que a amostra de semente é distribuída sobre uma tela metálica colocada no interior da caixa plástica, formando uma camada única, visando garantir a exposição uniforme das sementes. Os gerbox são fechados e colocados dentro de BOD em temperatura e por período recomendados para a espécie em questão (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999). Após esse período de incubação, as sementes são colocadas para germinar segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

No envelhecimento acelerado com solução saturada, é realizado da mesma maneira que descrita no método do gerbox, com exceção de serem adicionados, ao fundo da cada caixa plástica, 40 mL de solução saturada de cloreto de sódio, na concentração de 40 mg/mL, visando proporcionar ambiente com 76% de umidade relativa do ar e a fim de controlar o processo de embebição e, assim, a deterioração das sementes (JIANHUA; MCDONALD, 1997).

Pode-se utilizar o teste de envelhecimento acelerado, para selecionar lotes para semeadura, avaliar o potencial de armazenamento, avaliar o potencial de emergência de plântulas em campo, identificar diferenças de potencial fisiológico em amostras com

germinação semelhante, além de auxiliar métodos de seleção durante melhoramento de plantas (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999). O teste pode ser afetado pela temperatura, período de exposição das sementes, grau de umidade das sementes e genótipo. Além desses fatores, a absorção de água pelas sementes é um fator que pode interferir na interpretação dos dados do teste de envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO, 2005).

2.4 Metodologias do Teste de Envelhecimento Acelerado

Normalmente, para a montagem do teste de envelhecimento acelerado, utiliza-se a umidade relativa variando de 90 a 100% e temperaturas que variam de 41 a 45°C. O tempo de permanência nessas condições varia conforme a finalidade do teste de envelhecimento acelerado para a espécie, podendo ser desde 48 a 144 horas.

Existem poucos estudos sobre o envelhecimento acelerado em sementes de café. No entanto, em algum relatos, como o de Pertel (2004), no qual não foi observada redução expressiva na porcentagem de germinação das sementes, à medida que se aumentou o tempo de envelhecimento artificial e que, no tempo de 120 horas de incubação, houve uma redução média da germinação dos lotes em 7%. Fantazzini et al. (2018) verificaram que o envelhecimento artificial pode predizer a armazenabilidade de sementes de café, sendo que os tempos de envelhecimento artificial são variáveis com as cultivares quando se usa temperatura de incubação 42°C. No entanto, de acordo com os resultados desse trabalho, a metodologia do teste de envelhecimento acelerado, para sementes de café, ainda carece de investigação, no que se refere à temperatura e ao tempo de exposição das sementes.

Em soja, são encontrados trabalhos recentes que utilizam o teste de envelhecimento acelerado, para a avaliação do potencial fisiológico associado com análise de imagem, para selecionar linhagens, avaliar a produção de sementes de soja em área de várzea (LUDWIG et al., 2015; MARTINS et al., 2016; SILVA et al., 2016).

Para a soja, a temperatura e período, para a realização do teste, é de 42°C por 72 horas (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - AOSA, 1983) ou 41 °C por 48 horas (MARCOS FILHO, 1999). Yagushi, Costa e França-Neto (2014), avaliando a eficácia do teste de envelhecimento acelerado com solução saturada, verificaram que o teste realizado com solução saturada de NaCl a 41 °C, durante 72 horas ou 96 horas, foram eficazes para estimar o potencial fisiológico de sementes de soja. Ávila et al. (2011) verificaram que o vigor e a viabilidade apresentaram tendência contrária à atividade dos agentes antioxidantes, ao longo do envelhecimento acelerado, até 48 horas.

Em sementes de soja, o teste de envelhecimento acelerado pode ser utilizado para a seleção de linhagens de soja com sementes de maior vigor e emergência de plântulas em campo (MARTINS et al., 2016). Para a avaliação da qualidade de sementes, submetidas a diferentes doses de produtos, testaram-se doses crescentes de cal super na qualidade de sementes de soja (SILVA et al., 2016).

Na avaliação da qualidade de sementes de soja produzidas em área de várzea, Ludwig et al. (2015) observaram que o teste de envelhecimento acelerado foi capaz de distinguir níveis de vigor e que o alagamento do solo, de maneira geral, causa efeito negativo na qualidade fisiológica das sementes.

A temperatura e o período de exposição de sementes de feijão é de 42 °C, por 72 h (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999), sendo que a qualidade de sementes de feijão, submetidas a diferentes doses de produtos, pode ser avaliada pelo envelhecimento acelerado.

Para a cultura do milho, há diferentes indicações da temperatura/período de condicionamento adequados, para a realização do teste, 45°C durante 72 h (BITTENCOURT; VIEIRA, 2006; DUTRA; VIEIRA, 2004; HAMPTON; TEKRONY, 1995; ISTA, 1995) e 42°C/96 h (MARCOS FILHO, 1999). Rocha et al. (2018) avaliaram que 45°C/48h e 42°C/48h foram sensíveis para diferenciar o vigor de lotes de sementes de milho pipoca.

Prazeres e Coelho (2016), estudando a contribuição genética das linhagens, para a qualidade fisiológica das sementes, na obtenção dos híbridos de milho, observaram que o teste de envelhecimento acelerado foi eficaz na determinação da diferença genética entre as linhagens. Pode-se avaliar a qualidade de sementes de milho tratadas com diferentes produtos, por meio do teste de envelhecimento acelerado, o que permite diferenciar níveis de vigor. Segato e Mosconi (2015), avaliando a qualidade de sementes de milho tratadas com o produto comercial à base de micronutrientes e flavonoides, observaram maior desempenho, para as sementes tratadas, em relação às não tratadas, pelo teste de envelhecimento acelerado. Domene et al. (2016), ao analisar o efeito do tratamento com óleos essenciais sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes de milho, observaram, por meio do teste de envelhecimento acelerado, que o óleo de *C. citriodora* afetou o vigor das sementes.

Segundo Powell (1995), pesquisas relacionadas ao envelhecimento acelerado, conduzidas com sementes pequenas, como as de hortaliças, têm revelado resultados pouco consistentes pela variação muito acentuada do grau de umidade das amostras, após o envelhecimento. O mesmo acontece, para as sementes de gramíneas forrageiras, pois, em razão do o tamanho pequeno, apresentam rápida absorção de água, podendo levar à grande

variação, no teor de água após o envelhecimento, resultando um grau de deterioração mais acentuado e redução mais drástica da germinação (POWELL, 1995; PANOBIANCO; MARCOS FILHO, 1999).

Para sementes pequenas, é sugerida a substituição da água por soluções saturadas de sais, as quais permitem maior eficiência na detecção de diferenças de qualidade fisiológica de lotes. Para o envelhecimento acelerado em solução salina saturada, existem algumas recomendações, como a incubação a 48 e 72 horas a 42°C, 48 horas a 41°C ou utilizando solução salina saturada, na combinação 24 horas a 41°C, em sementes de coentro (PEREIRA; TORRES; LINHARES, 2015; RADKE et al., 2016; TUNES et al., 2011), 72 horas a 41°C, em sementes de alface e almeirão (SANTOS et al., 2011); 48 horas a 41°C, em sementes de jiló (LOPES; BARBOSA; VIEIRA, 2012) 48 e 72 horas a 41°C, em sementes de alface (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2012); 96 horas a 41°C, em sementes de leucena (ARAÚJO et al., 2017) e 72 horas a 41°C em solução saturada em sementes de cebolas (RODO; MARCOS FILHO, 2003).

Em sementes de *Melanoxylon brauna*, submetidas ao envelhecimento natural e artificial, Corte et al. (2010) observaram que o envelhecimento acelerado a 40°C por 96 horas simulou, de forma nítida, o mesmo comportamento germinativo das sementes armazenadas por 12 meses em câmara fria a 20°C.

Para sementes de quiabo, os testes de envelhecimento acelerado tradicional e em solução saturada com cloreto de sódio, a 41°C, durante 96 horas, constituem-se em opções promissoras para detectar diferenças de vigor entre lotes (TORRES et al., 2014). De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), acréscimos nos teores de água favorecem o aumento da temperatura na semente, em decorrência dos processos respiratórios e da maior atividade de microrganismos. Assim, o aumento da exposição das sementes ao envelhecimento artificial proporcionou maior valor, no teor de água das sementes, aliada à alta temperatura (42°C), resultando em maior deterioração das sementes, em relação àquelas não envelhecidas.

De acordo com as informações encontradas na literatura, sobre a utilização do teste de envelhecimento acelerado para diferentes espécies, observa-se que há grande variação, na metodologia a ser utilizada, quanto à melhor temperatura e tempo de exposição, sendo que o método deve ser específico à cada espécie.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. dos S. et al. Adequacy of the accelerated aging test to evaluate the vigor in leucena seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, p. 92-97, 2017.
- ARAÚJO, R. F. et al. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despolpado e não despolpado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 71-78, 2008.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigour testing handbook**. East Lasing, 1983. 88 p.
- ATAÍDE, G. M.; FLORES, A. V.; BORGES, E. E. L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Pterogynenitens* Tull. durante o envelhecimento artificial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 71-76, jan./mar. 2012.
- ÁVILA, M. R. et al. Effect of storage period on isoflavone content and physiological quality of conventional and transgenic soybean seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 149-161, 2011.
- BARBOSA, R. M.; COSTA, D. S. D.; SÁ, M. E. D. Accelerated aging in lettuce seeds. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 11, p. 1899-1902, 2011.
- BITTENCOURT, S. R. M.; VIEIRA, R. D. Temperatura e período de exposição de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 161-168, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.
- CARVALHO, D. et al. Eletroforese de proteínas e isoenzimas em sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) envelhecidas artificialmente. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 19-24, 2006.
- CARVALHO, E. R. et al. Pre-packing cooling and types of packages in maintaining physiological quality of soybean seeds during storage. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 129-139, June 2016.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, segundo levantamento**. Brasília, DF, 2019. 61 p.
- COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. Massachusetts: Academic, 2001.
- CORTE, V. B. et al. Qualidade fisiológica de sementes de *melanoxylon brauna* envelhecidas natural e artificialmente. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 181-189, 2010.

DELOUCHE, J. E. An accelerated aging technique for predicting relative storability of crimson clover and tall fescue seed lots. **Agronomy Abstracts**, Madison, v. 1965, p. 40, 1965.

DELOUCHE, J. E.; BASKIN, E. E. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 2, p. 427-452, 1973.

DOMENE, M. P. et al. Efeito do tratamento com óleos essenciais sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes de milho (*Zea mays*). **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 83, p. e0072014, 2016.

DUTRA, A. S.; VIEIRA, R. D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 715-721, 2004.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour?: I, coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, p. 1167-1174, 1990.

FANTAZZINI, T. B. et al. Association between the artificial aging test and the natural storage of coffee seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 164-172, 2018.

GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000.

GRIS, C. F. et al. Qualidade fisiológica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênica RR submetidas a diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 374-381, 2010.

GROOT, S. P. C. et al. Gene expression during loss and regaining of stress tolerance at seed priming and drying. In: NICOLÁS, G. et al. (Ed.). **The biology of seeds: recent research advances**. Cambridge: CAB International, 2003. p. 279-287.

HAMPTON, J. G.; TEKRONY, D. M. **Handbook of vigour test methods**. 3rd ed. Zurich: ISTA, 1995. 117 p.

HELMER, J. D.; DELOUCHE, J. C.; LIENHARD, M. Some indices of vigor and deterioration in seed of crimson clover. **Proceedings of Association of Official Seed Analysts**, New York, v. 52, p. 154-161, 1962.

INTERNACIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **Handbook of vigour test methods**. 3rd ed. Zurich, 1995. 117 p.

JIANHUA, Z.; MCDONALD, M. B. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 25, n. 1, p. 123-131, 1997.

KIKUTI, A. L. P.; MARCOS FILHO, J. Testes de vigor em sementes de alfaca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 1, p. 44-50, 2012.

KING, M. W.; ROBERTS, E. H. **The storage of recalcitrant seeds: achievements and possible approaches**. Rome: IBPGR, 1979. 96 p.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218 p.

LARRÉ, C. F.; ZEPKA, A. P. S.; MORAES, D. M. Testes de germinação e emergência em sementes de maracujá submetidas a envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 708-710, jul. 2007.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; MCKERSIE, B. D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 3, p. 231-246, 1993.

LIMA, J. J. P. et al. Teste de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica em sementes de crambe. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 1, p. 7-14, jan./fev. 2015.

LOPES, M. M.; BARBOSA, R. M.; VIEIRA, R. D. Methods for evaluating the physiological potential of scarlet eggplant (*Solanum aethiopicum*) seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 40, n. 1, p. 86-94, 2012.

LUDWIG, M. P. et al. Produção de sementes de soja sobre solo de várzea alagada. **Revista de Agricultura**, Recife, v. 90, n. 1, p. 1-16, 2015.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-24.

MARTINS, C. C.; BOVI, M. L. A.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de palmito-vermelho em função da desidratação e do armazenamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 2, p. 188-192, 2007.

MARTINS, C. C. et al. Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 455-461, jul./set. 2016.

MARTINS-FILHO, S. et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas em condições de ambiente natural em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, p. 201-208, 2001.

MILOŠEVIĆ, M.; VUJAKOVIĆ, M.; KARAGIĆ, D. Vigour tests as indicators of seed viability. **Genetika**, Beograd, v. 42, n. 1, p. 103-118, 2010.

OHLSON, O. C. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.

PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 20, n. 2, p. 306-310, 1998.

RADKE, A. K. et al. Alternativas metodológicas do teste de envelhecimento acelerado em sementes de coentro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 1, p. 95-99, 2016.

PEDROSO, D. C. et al. Envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2389-2392, 2010.

PEREIRA, M. D.; MARTINS FILHO, S.; LAVIOLA, B. G. Envelhecimento acelerado em sementes de pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 119-123, 2012.

PEREIRA, M. F. S.; TORRES, S. B.; LINHARES, P. C. F. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico em sementes de coentro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 595-606, 2015.

PERTEL, J. D. S. **Alterações fisiológicas e bioquímicas durante o envelhecimento natural e artificial de sementes de café (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 100 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de café**. Lavras: Ed. UFLA, 2003. 304 p.

PIMENTA, C. J.; COSTA, L.; CHAGAS, S. J. R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Edição especial, Viçosa, MG, v. 1, p. 23-30, 2000.

POWELL, A. A. The controlled deterioration test. In: VERTER, H. A. van de (Ed.). **Seed vigour testing seminar**. Zurich: ISTA, 1995. p. 73-87.

PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M. Heterose para qualidade fisiológica de sementes na obtenção de híbridos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 1, p. 124-133, 2016.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO, 1996, Poços de Caldas. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 13-85.

ROCHA, C. S. et al. Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 428-434, 2018.

RODO, A. B.; MARCOS FILHO, J. Accelerated aging and controlled deterioration for the determination of the physiological potential of onion seeds. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, p. 465-469, 2003.

SANTOS, F. D. et al. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação da qualidade de sementes de alface e almeirão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 322-323, 2011.

SCALON, S. P. Q. et al. Armazenamento e tratamento pré-germinativos em sementes de jacarandá (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 179-185, 2006.

SEGATO, S. V.; MOSCONI, F. Teste de germinação e de vigor em sementes de milho tratadas com micronutrientes e flavonoides. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n. 2, p. 231-236, out. 2015.

SILVA, D. A. D. et al. Qualidade de sementes de soja submetidas a doses crescentes de cal super. **Campo Digit@l: Revista de Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Campo Mourão, v. 11, n. 1, p. 54-61, jan./jul. 2016.

SILVA, J. B.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Comportamento de sementes de cultivares de soja, submetidas a diferentes períodos de envelhecimento acelerado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 755-762, set./out. 2010.

SOUZA, J. R. P. et al. Tempo de armazenamento e temperatura na porcentagem e velocidade de germinação das sementes de camomila. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 982-986, 2007.

SOUZA, V. C.; BRUNO, R. L. A.; ANDRADE, L. A. Vigor de sementes armazenadas de ipê-amarelo *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 833-841, 2005.

TOLEDO, F. F. Comparação de métodos de laboratório para a determinação de vigor em sementes de algodão. **Revista de Agricultura**, Recife, v. 41, n. 1, p. 13-16, 1966.

TORRES, S. B. et al. Diferenciação de lotes de sementes de quiabo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 12, p. 2103-2110, 2014.

TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Accelerated aging of melon seeds. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, p. 77-82, 2003.

TUNES, L. M. et al. Envelhecimento acelerado modificado para sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) e sua correlação com outros testes de vigor. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 12-17, 2011.

VIEIRA, A. R. et al. Armazenamento de sementes de café: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, p. 76-82, 2007.

VIEIRA, J. F. et al. Physiological and phytosanitary potential of rocket seeds. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 200-205, 2015.

YAGUSHI, J. T.; COSTA, D. S.; FRANÇA-NETO, J. B. Saturated salt accelerated aging and computerized analysis of seedling images to evaluate soybean seed performance. **Journal of Seed Science**, Zurich, v. 36, n. 2, p. 213-221, 2014.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

**ARTIGO 1 - ESTUDO DE METODOLOGIAS DO TESTE DE ENVELHECIMENTO
ACELERADO EM SEMENTES DE *Coffea arabica* L.**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

Os testes de vigor são ferramentas importantes utilizadas no controle de qualidade interno pelas empresas sementeiras, para a determinação do potencial fisiológico, permitindo aos responsáveis técnicos uma tomada de decisão correta sobre o destino dos lotes. Neste sentido, o teste de envelhecimento acelerado tem se mostrado um método sensível, para avaliar o vigor de lotes de sementes, como também para estimar o seu potencial de armazenamento. No entanto, para as sementes de café, há poucas informações quanto ao seu uso e eficiência como teste de vigor. Dessa forma, o objetivo foi investigar diferentes temperaturas e tempos de exposição, para a realização do teste de envelhecimento acelerado, em sementes de *Coffea arabica*. Para isso, foram utilizados dois lotes de sementes de *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí Amarelo IAC/62, três temperaturas de incubação em BOD (42°C, 44°C e 46°C) e nove tempos de exposição (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 horas). Foi utilizado o método do gerbox, com o uso de caixas plásticas transparentes, contendo 40 mL de água destilada no fundo do recipiente, promovendo uma umidade relativa de 100%, no seu interior. Inicialmente foi realizada a caracterização dos lotes, por meio da determinação da umidade e dos testes de germinação, primeira contagem de germinação, matéria seca de parte aérea e radicular, condutividade elétrica e emergência de plântulas para comparar com os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado. Após cada período de envelhecimento, foi determinado o teor de água das sementes e foi realizada a avaliação da qualidade fisiológica, no teste de germinação, pela porcentagem de plântulas normais aos 30 dias. Empregou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade na comparação de médias. Concluiu-se que a temperatura de 42°C promove uma deterioração lenta das sementes, não sendo indicado para a avaliação do vigor de sementes de *Coffea arabica*. A temperatura de 44°C, após 72 horas de exposição e à temperatura de 46°C entre os períodos de 48 a 96 horas de exposição, são sensíveis para a avaliação vigor de sementes de *Coffea arabica* L.

Palavras-Chave: *Coffea arabica*. Análise. Controle de qualidade.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e esta *commodity* tem grande importância na balança comercial brasileira. Além de grande importância no aspecto econômico, o café tem uma enorme relevância como componente social, alimentício e cultural, visto que a cafeicultura é fonte de renda, para um grande contingente populacional, é um produto acessível à população e teve participação na história política brasileira.

Ciente da importância do café no contexto nacional, é imprescindível a busca de novas tecnologias, que auxiliem os pesquisadores e técnicos a solucionarem os gargalos da cafeicultura, na busca pela sustentabilidade do setor.

A espécie *Coffea arabica* L. é propagada, por meio de mudas produzidas por sementes, que possuem comportamento intermediário a recalcitrante com relação à tolerância à dessecação e ao seu comportamento durante o armazenamento (ELLIS; HONG; ROBERTS, 1990; KING; ROBERTS, 1979). Essa característica aliada à germinação lenta e desuniforme das sementes dificulta a produção de mudas com desejável padrão de qualidade, no momento ideal do plantio.

Em razão do comportamento intermediário da espécie *Coffea arabica* L., sementes dessa espécie apresentam baixa longevidade, constituindo-se um dos maiores entraves visto pelos produtores e tecnólogos de sementes, uma vez que as condições de armazenamento podem causar danos irreversíveis à viabilidade (VIEIRA et al., 2007).

Neste cenário, para a maioria das culturas propagadas por sementes, nem sempre a época de colheita coincide com a época mais adequada para a semeadura e, por este motivo, as sementes são armazenadas para a manutenção de sua qualidade fisiológica (SOUZA et al., 2007). Portanto o armazenamento é uma forma segura e econômica de conservação da diversidade genética vegetal, além de reduzir a velocidade da deterioração, um processo natural e irreversível de desestruturação física e perda de capacidade fisiológica (CARVALHO et al., 2006; MARTINS; BOVI; NAKAGAWA, 2007; SCALON et al., 2006; SOUZA; BRUNO; ANDRADE, 2005).

A conservação da qualidade das sementes de café, durante o armazenamento, tem sido um dos maiores desafios aos produtores de sementes, uma vez que elas perdem rapidamente a viabilidade, não mantendo o poder germinativo em níveis satisfatórios por períodos superiores a seis meses após a colheita (ARAÚJO et al., 2008; PERTEL et al., 2003; VIEIRA et al., 2007).

O uso de sementes com qualidade é motivo determinante, para a formação de mudas vigorosas e uniformes, a fim de garantir o estabelecimento da cultura, com estande ideal e com potencial, a fim de adaptar as adversidades iniciais do plantio, de forma a assegurar o potencial produtivo dos genótipos. Assim, a qualidade das sementes é um aspecto inegável ao sucesso ou ao fracasso da produção de mudas, uma vez que detém todas as potencialidades produtivas da planta.

É fundamental avaliar o potencial fisiológico das sementes, por meio de testes, que forneçam informações confiáveis, para que as decisões possam ser tomadas, durante sua produção e comercialização (BITTENCOURT et al., 2012). Se basear apenas nos resultados dos testes padrões não é suficiente, para avaliar o potencial fisiológico das sementes no campo (OHLSON et al., 2010), uma vez que é realizada em condições ideais de disponibilidade hídrica, aeração e temperatura (BRASIL, 2009). Neste contexto, os testes de vigor são ferramentas utilizadas de forma adicional aos testes padrões, com o intuito de amparar na tomada de decisão, a fim de tornar o controle de qualidade mais eficiente (BITTENCOURT et al., 2012).

Neste âmbito, o teste de envelhecimento acelerado é um teste de vigor que fornece informações confiáveis sobre a qualidade fisiológica das sementes. Nesta avaliação, sementes são submetidas a condições de alta temperatura e umidade relativa para estimar o potencial de armazenamento relativo dos lotes de sementes (DELOUCHE; BASKIN, 1973; SANTOS et al., 2002).

De acordo com Larré, Zepka e Moraes (2007) e Milošević, Vujakovic e Karagic (2010), o teste pode prever o nível de deterioração, o potencial de armazenamento e, às vezes, pode correlacionar com a emergência em campo, assim como também avaliar as diferenças fisiológicas de sementes de lotes diferentes, mas com germinação semelhante.

Diversas espécies podem ter seu vigor avaliado, mediante o teste de envelhecimento acelerado, e muitas empresas produtoras incluíram o teste em seus programas de controle de qualidade (GUEDES et al., 2009, 2011; ROCHA et al., 2018).

Para as sementes da espécie *Coffea arabica* L., existem poucas referências na literatura científica que mencionam o uso do teste de envelhecimento acelerado para avaliar a condição fisiológica de lotes de sementes de café. Fantazzini et al. (2018) e Pertel et al. (2003) trabalharam com teste de envelhecimento acelerado testando a temperatura de 42°C e diferentes tempos de exposição para sementes de café, no entanto observaram que a deterioração ocorreu, em longos períodos de exposição, indicando que outras condições de ambiente, no interior da câmara de envelhecimento, devem ser investigadas.

Assim, o objetivou-se investigar diferentes temperaturas e tempos de exposição para a realização do teste de envelhecimento acelerado em sementes de *Coffea arabica*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Sementes, do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil.

2.1 Colheita dos frutos e obtenção das sementes

Os frutos da espécie *Coffea arabica* L cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 foram colhidos em estágio de maturidade fisiológica, em lavouras da Fazenda Experimental de Varginha, da Fundação Procafé (Programa Integrado de Apoio à Tecnologia Cafeeira).

Os frutos colhidos foram despulpados mecanicamente e as sementes foram desmuciladas por fermentação em água por período de 24 horas a 25°C. Posteriormente, foram secadas em secador estático a 26°C até as sementes atingirem 12% de umidade. Após secagem, as sementes tiveram os pergaminhos removidos manualmente.

Foram utilizados dois lotes de sementes e, para o teste de envelhecimento acelerado, utilizaram-se três temperaturas, 42°C, 44°C e 46°C e nove tempos de exposição 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 horas. Foi usado o método do gerbox, com caixas plásticas transparentes de 11 x 11 x 3 cm, contendo 40 mL de água destilada, no fundo do recipiente, a fim de garantir que a umidade relativa ficasse próxima de 100%. As sementes foram distribuídas sobre as telas metálicas, em camada única, no interior das caixas plásticas, visando garantir a exposição uniforme à umidade do ambiente interno. As caixas contendo as sementes foram lacradas e mantidas em estufa incubadora (BOD) sob as temperaturas e os tempos definidos.

Uma avaliação inicial das sementes foi realizada, para a caracterização dos lotes, por meio da determinação do teor de água, teste de germinação, massa seca, condutividade elétrica, teste de tetrazólio, índice de velocidade de emergência e emergência. Após cada período de incubação em BOD, para cada temperatura testada, as sementes foram submetidas à determinação do teor de água e teste de germinação.

2.2 Avaliações Fisiológicas

A **determinação do teor de água** foi realizada, por meio do método de estufa a 105°C, durante 24 horas, com quatro repetições de 25 sementes. Os resultados foram

expressos em porcentagem, com base no peso úmido das sementes, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes ou RAS (BRASIL, 2009).

O **teste de germinação** foi realizado com quatro repetições de 50 sementes sem pergaminhos para cada tratamento, semeadas em rolos de papel de germinação umedecidos com água destilada na quantidade de duas vezes e meia o peso do papel seco. As sementes foram condicionadas em germinador, regulado a 30° C, na presença de luz. Foi determinada a porcentagem de protrusão radicular, aos 15 dias após semeadura, em que foram computadas as plântulas que apresentam raiz principal e pelo menos duas raízes laterais; a porcentagem de plântulas normais aos 30 dias após semeadura, conforme os critérios estabelecidos pelas RAS (BRASIL, 2009). Também foi determinada a porcentagem de plântulas normais fortes, sendo computadas aquelas que tiveram a alça hipocotiledonar com três centímetros ou mais, e normais fracas as que não atingiram esse padrão; e a porcentagem de plântulas com folhas cotiledonares expandidas aos 45° dias após a semeadura.

A **massa seca de raízes e massa seca de partes aéreas** foram determinadas, após a última avaliação das plântulas obtidas no teste de germinação, aos 45 dias após a semeadura. Foram secadas, em estufa de circulação forçada de ar, em 60°C por 5 dias. Após esse período, a massa seca foi determinada em balança de precisão.

O **teste de tetrazólio** foi realizado com quatro repetições de 25 sementes de cada tratamento. As sementes, sem o pergaminho, foram embebidas por 36 horas a 30°C e os embriões foram extraídos e mantidos em solução de antioxidante polivinilpirrolidona (PVP), do momento de sua extração dos endospermas até serem colocados na solução de tetrazólio. Após extração, os embriões foram lavados em água corrente com o auxílio de uma peneira e embebidos em solução de tetrazólio 0,5%, utilizando-se frascos escuros e submetidos à temperatura de 30°C por 3 horas, como descrito na RAS (BRASIL, 2009), com modificações (CLEMENTE et al., 2011).

A análise da viabilidade dos embriões foi realizada com auxílio de lupa estereoscópica com aumento de 10 vezes. Para isso, foi realizado um corte longitudinal ao meio dos embriões, os quais foram classificados em viáveis e inviáveis de acordo com a localização e extensão dos danos (BRASIL, 2009).

O **teste de condutividade elétrica** foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, as quais foram pesadas, colocadas em copos com 75 mL de água deionizada e mantidas em temperatura de 25°C, protegidos da luz, em câmara tipo BOD. Após 24 horas de embebição, foi realizada a leitura da condutividade elétrica, por meio de condutivímetro

Digimed CD-21, de acordo com metodologia descrita por Vieira, Carvalho e Sader (1994). Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Para a **emergência em condições controladas**, foram utilizadas bandejas plásticas, contendo como substrato solo mais areia na proporção 2:1, onde foram semeadas quatro repetições de 50 sementes de forma aleatória sobre uma camada de 2/3 do substrato. Após a semeadura as sementes, foram encobertas com 1/3 do substrato. Após o preparo, procedeu-se com a irrigação até que o substrato atingisse 60% da capacidade de campo. As bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à temperatura de 30°C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). Foi considerada a porcentagem de plântulas normais, aos 80 dias após a semeadura, quando ocorreu a estabilização da emergência das plântulas, e o índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado segundo fórmula proposta por Maguire (1962).

2.3 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x9, sendo três temperaturas de 42°C, 44°C e 46°C e nove períodos de incubação em BOD, 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 e 192 horas, com quatro repetições. Os resultados dos testes fisiológicos foram submetidos à análise de variância, por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014), sendo as médias comparadas, por meio do teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Qualidade fisiológica dos lotes de sementes de café

De acordo com o perfil dos lotes de sementes 1 e 2 (Tabela 1), elas apresentaram o mesmo desempenho fisiológico, quando avaliados pelos testes de viabilidade (VB), germinação (G), protrusão radicular (PR), plântulas normais fortes (PNF), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE), pois não houve diferença estatística ($p < 0,05$).

Tabela 1 - Caracterização da qualidade inicial de lotes de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, pelas variáveis viabilidade (VB), germinação (G), protrusão radicular (PR), plântulas normais fortes (PNF), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE).

Lote	VB (%)	G (%)	PR (%)	PNF (%)	FCO (%)	MSPA (g)	MSPR (g)	E (%)	IVE	CE
1	98a	88a	98 ^a	26a	94a	2,52a	0,55a	90a	25,56a	10,77a
2	98a	94a	99 ^a	27a	89a	2,63a	0,59a	80a	30,77a	9,79a
CV (%)	1,16	4,99	1,95	7,46	5,42	4,99	4,85	11,10	18,64	16,61

Fonte: Do autor (2019).

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

3.2 Teste de envelhecimento acelerado

O grau de umidade inicial dos lotes 1 e 2 de sementes foi de 13,29 e 12,70%, respectivamente (Tabela 2), com diferença inferior a 2% entre lotes. Esse é um requisito importante, para a realização de testes de vigor, pois, para a obtenção de resultados consistentes, é necessário que o teste seja instalado com amostras cujo teor de água não varia em mais de 2,0 pontos percentuais, pois a absorção de água pelas sementes é um fator que pode interferir na interpretação dos dados do teste de envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO, 2015; SILVA; LAZARINI; SÁ, 2010). Segundo Marcos Filho (2015), as sementes mais úmidas são mais sensíveis às condições do teste e, portanto estão sujeitas a uma deterioração mais intensa.

Nota-se que houve acréscimo gradual no grau de umidade das sementes, à medida que se aumentou o tempo do teste de envelhecimento acelerado, independentemente da temperatura de incubação. Verifica-se que, a partir de 168 horas, o grau de umidade se manteve estável em 38%.

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), incrementos nos teores de água favorecem a elevação da temperatura da semente, em decorrência dos processos respiratórios e da maior atividade de microrganismos. O aumento no tempo de exposição às condições adversas, proporcionado pelo teste de envelhecimento acelerado, pode ter propiciado maior incremento na umidade das sementes condicionadas.

A umidade é o fator que mais influencia a taxa respiratória das sementes. A respiração das sementes aumenta consideravelmente com o aumento da umidade e, em decorrência, promove aumento na taxa de deterioração (ATHIÉ et al., 1998; BEWLEY; BLACK, 1994).

Tabela 2 - Teor de água (%) de lotes de sementes de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, após o envelhecimento acelerado, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.

Tempo (h)	Temperatura					
	2°C		44°C		46°C	
	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2
0	13,29	12,70	13,29	12,70	13,29	12,70
24	25,06	26,15	25,23	24,04	26,01	25,27
48	28,14	25,99	24,83	30,19	32,10	29,82
72	34,07	33,88	34,65	34,43	33,86	34,18
96	34,63	27,47	35,98	35,79	35,86	36,39
120	34,67	37,89	37,98	36,39	34,93	41,70
144	33,71	36,42	40,44	39,58	33,08	36,44
168	37,26	38,46	38,38	40,11	38,77	38,51
192	39,43	38,29	38,70	40,28	37,62	38,61

Fonte: Do autor (2019).

Para o lote 1 e lote 2, no teste de envelhecimento acelerado, observa-se que houve interação entre a temperatura e o período de exposição. Dentro de cada temperatura testada, foi observado declínio na germinação, aumento da taxa de deterioração com o aumento do período de exposição ao teste (Tabelas 3 e 4), fato também observado por Pertel et al. (2003).

Tabela 3 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 1, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.

Tempo (h)	Temperatura		
	42 °C	44°C	46 °C
0	94aA	94aA	94aA
24	94aA	97aA	95aA
48	95aA	93aA	48bB
72	89aA	85bA	52bB
96	90aA	77cB	31cC
120	92aA	73cB	11dC
144	77bA	47dB	8dC
168	90aA	50dB	4dC
192	81bA	55dB	4dC

Fonte: Do autor (2019).

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Utilizando-se a temperatura de incubação de 42°C, verifica-se que reduções significativas no percentual de germinação ocorrem, a partir de 144 horas de incubação em BOD, para o lote 1 (Tabela 3) e 120 horas para o lote 2 (Tabela 4). Para a temperatura de 44°C, verifica-se que a redução da germinação ocorre, a partir de 72 horas, para ambos os lotes. Já na temperatura de 46°C para os dois lotes, observa-se que a redução da germinação ocorre a partir de 48 horas. Nota-se que o aumento da grandeza física de ambos os fatores contribuiu para uma redução do percentual de germinação de forma mais drástica. Esse fato corrobora com o que foi descrito por Marcos Filho (2005) sobre o teste de envelhecimento acelerado, em que a temperatura, o período de exposição das sementes, grau de umidade das sementes ou genótipo afetam a sua deterioração fisiológica, que ocorre porque o teste é considerado um método que simula condições de estresse, gerando alta respiração e consumo de reservas e, assim, provocando alterações degenerativas no metabolismo das sementes (MORAES et al., 2016), propiciando a sua deterioração.

Para o lotes 2 (Tabela 4), nas diferentes temperaturas testadas, observa-se que houve um acréscimo no percentual de germinação da testemunha em relação ao período de exposição de 24 horas. Esse fato pode estar relacionado a um pré-condicionamento propiciado pela exposição das sementes a uma condição de alta umidade, em um período de 24 horas, assemelhando-se aos efeitos do condicionamento osmótico (priming) em sementes de hortaliças.

Tabela 4 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 2, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.

Tempo (h)	Temperatura		
	42 °C	44°C	46 °C
0	88bA	88bA	88bA
24	94aA	97aA	95aA
48	94aA	91aA	79cB
72	94aA	88bA	44dB
96	92aA	83bB	28eC
120	88bA	67cB	18fC
144	85bA	59cB	9gC
168	85bA	61cB	6gC
192	82bA	34dB	8gC

Fonte: Do autor (2019).

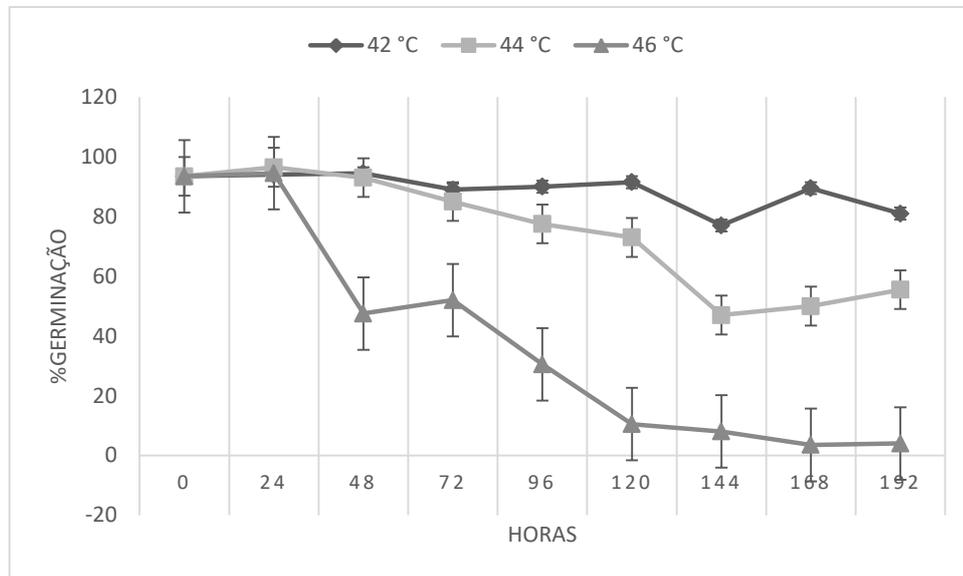
*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

A temperatura de 42°C, no teste de envelhecimento acelerado, em sementes de *Coffea arabica* (Figura 1 e 2), promoveu uma deterioração muito lenta, demandando muitas horas de exposição em um elevado grau de umidade e temperatura.

Pertel et al. (2003) observaram que a deterioração provocada pelo envelhecimento natural (armazenamento), com 6 meses em temperatura ambiente e 12 meses em câmara fria (10°C), foi mais drástica do que a promovida pelo envelhecimento artificial, utilizando temperatura de 42°C e 120 horas de exposição, para sementes de *Coffea arabica*, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho, em que o envelhecimento acelerado a 42°C e 120 horas de exposição teve percentual médio de germinação de 92%, que é superior ao encontrado pelo autor que é de 0 e 70% para os armazenamentos testados, respectivamente.

Ao estudar o comportamento das sementes de *Coffea arabica*, submetidas ao envelhecimento natural, Fantazzini et al. (2018) ressaltaram que o tempo de envelhecimento artificial de 6 a 10 dias, sob temperatura de 42°C e 100% de umidade relativa, parece demasiadamente longo, indicando que outras condições de ambiente, no interior da câmara de envelhecimento, devem ser investigadas, visando reduzir o tempo do teste de envelhecimento, que possa simular a deterioração durante o armazenamento natural das sementes de café.

Figura 1 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 1, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.



Fonte: Do autor (2019).

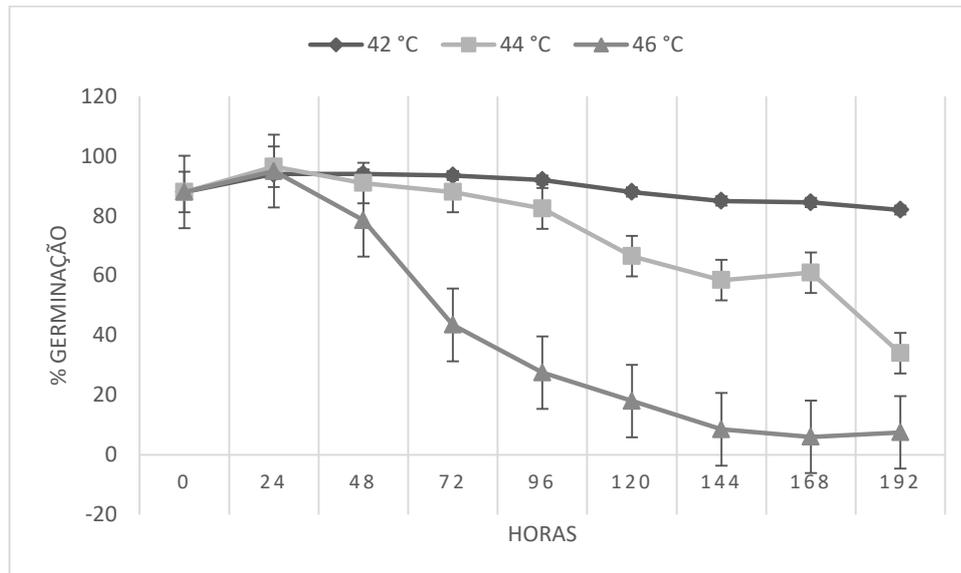
Visto que algumas características desejadas, em um teste de vigor, é que ele seja rápido, econômico, simples e útil (COPELAND; MCDONALD, 2001), o teste de envelhecimento acelerado, utilizando temperatura de 42°C, não atendeu aos requisitos básicos de um teste de vigor, pois a deterioração aconteceu de forma lenta e demonstrou baixa capacidade de provocar estresse às sementes.

Neste sentido, a exposição às temperaturas de 44°C e 46°C foram capazes de reproduzir um estresse as sementes de forma acentuada. Para a temperatura de 44°C, verifica-se que a redução da germinação ocorre de forma mais gradual, apresentando quatro níveis de deterioração, para os lotes 1 e 2 (Tabelas 3 e 4), sendo que, para lote 1, o grupo que apresenta sementes mais deterioradas se formaram, a partir de 144 horas de exposição, já no lote 2 o grupo com maior deterioração ocorre apenas com 192 horas de exposição.

No que diz respeito à temperatura de 46°C, nota-se que a redução da germinação se comporta de forma mais drástica que nas demais temperaturas avaliadas, apresentando quatro níveis de deterioração para o lote 1 e 7 níveis para o lote 2, dado que, para o lote 1, o grupo que apresenta sementes mais deterioradas se formou, a partir de 120 horas de exposição, já no lote 2 o grupo com maior deterioração ocorreu a partir de 144 horas de exposição. O aumento, no tempo de exposição, as condições do teste de envelhecimento acelerado resultaram em um aumento da umidade nas sementes condicionadas. Esse fato aliado à temperatura elevada de

46°C, imposta pelo teste de envelhecimento, resultou em um processo de deterioração mais acelerado dessas sementes do que em sementes submetidas a temperaturas inferiores.

Figura 2 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 2, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD.



Fonte: Do autor (2019).

A elevação da temperatura, no teste de envelhecimento acelerado, promove efeitos mais drásticos na germinação do que o prolongamento do período de exposição ao envelhecimento (TOMES; TEKRONY; EGLI, 1988). Resultados semelhantes ao verificados no trabalho foram observados por Borges, Castro e Borges (1990) com sementes de *Cedrela fissilis* L., Guedes et al. (2009) com sementes de *Erythrina velutina* Willd, Guedes et al. (2011) com sementes *Dalbergia nigra* (Vell.) e Rocha et al. (2018) para sementes de milho pipoca.

Após o período de 144 horas de exposição à temperatura de 46°C, as sementes tiveram germinação drasticamente reduzida, para ambos os lotes, com médias de germinação inferiores a 10%, demonstrando que o aumento do tempo, a partir desse período, não diferencia mais níveis deterioração. Silva et al. (2010) constataram que o aumento da temperatura provoca efeitos mais drásticos na germinação de sementes do que o aumento do tempo de exposição. Tal fato foi confirmado, no presente trabalho, à temperatura de 46°C. O prolongamento da exposição, no teste de envelhecimento acelerado, tende a favorecer a ação de patógenos sobre o processo de deterioração das sementes, interferindo nos resultados (HALLOIN, 1986),

sendo essa uma das prováveis razões da redução drástica da germinação para os períodos muito longos.

Nota-se que os lotes 1 e 2 se comportaram de forma distintas, em relação à capacidade de suportar o estresse promovido pelo teste de envelhecimento acelerado, nas diferentes temperaturas testadas, mas as temperaturas de 44 e 46°C se mostraram mais eficientes à avaliação da deterioração, pois, nessas temperaturas, os lotes apresentaram diferenças significativas, em relação ao grau de deterioração, possibilitando separações de quatro a sete classes de vigor no decorrer dos períodos de exposição em BOD.

Quanto ao comportamento fisiológico, sugere-se que há uma diferença de vigor entre os lotes, sendo que o lote 2 resistiu de forma mais gradual ao estresse provocado pelo teste de envelhecimento acelerado, visto que a deterioração ocorre de modo mais lento em relação ao lote 1 para as temperaturas de 44 e 46°C. Esse fato é explicado pela curva de sobrevivência de sementes, proposta por Ellis (1984), em que a deterioração ocorre de forma mais acentuada quanto mais próximo da exaustão de suas reservas. Sendo assim, pode-se sugerir que o lote 1 estaria em um ponto mais adiante na curva de sobrevivência que o lote 2.

4 CONCLUSÕES

A temperatura de 42°C promove uma deterioração lenta das sementes, não sendo indicada à avaliação do vigor de sementes de *Coffea arabica* L.

A temperatura de 44°C, após 72 horas de exposição e a temperatura de 46°C entre os períodos de 48 a 96 horas de exposição, são sensíveis para a avaliação vigor de sementes de *Coffea arabica* L.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. F. et al. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despolpado e não despolpado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 71-78, 2008.
- ATHIÉ, I. et al. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2nd ed. New York: Plenum, 1994. 445 p.
- BITTENCOURT, S. R. M. et al. Metodologia alternativa para condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1360-1365, 2012.
- BORGES, E. E. L.; CASTRO, J. L. D.; BORGES, R. C. G. Avaliação fisiológica de sementes de cedro submetidas ao envelhecimento precoce. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 56-62, 1990.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 395 p.
- CARVALHO, D. et al. Eletroforese de proteínas e isoenzimas em sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) envelhecidas artificialmente. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 19-24, 2006.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588 p.
- CLEMENTE, A. C. S. et al. Preparo das sementes de café para avaliação da viabilidade pelo teste de tetrazólio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 38-44, 2011.
- COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. Massachusetts: Academic, 2001.
- DELOUCHE, J. E.; BASKIN, E. E. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 2, p. 427-452, 1973.
- ELLIS, R. H. The meaning of viability. In: DICKIE, J. B.; LININGTON, S. H.; WILLIAMS, J. T. (Ed.). **Seed management techniques for genebanks**. Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1984. p. 146-178.
- ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour?: I., coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, p. 1167-1174, 1990.
- FANTAZZINI, T. B. et al. Association between the artificial aging test and the natural storage of coffee seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 164-172, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

- GUEDES, R. S. et al. Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 443-450, 2011.
- GUEDES, R. S. et al. Resposta fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. ao envelhecimento acelerado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 323-330, 2009.
- HALLOIN, J. M. Microorganism and seed deterioration. In: MCDONALD, J. R.; NELSON, C. J. (Ed.). **Physiology of seed deterioration**. Madison: Crop Science Society of America, 1986. p. 89-99.
- KING, M. W.; ROBERTS, E. H. **The storage of recalcitrant seeds: achievements and possible approaches**. Rome: IBPGR, 1979. 96 p.
- LARRÉ, C. F.; ZEPKA, A. P. S.; MORAES, D. M. Testes de germinação e emergência em sementes de maracujá submetidas a envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 708-710, jul. 2007.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.
- MARTINS, C. C.; BOVI, M. L. A.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de palmitero-vermelho em função da desidratação e do armazenamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 2, p. 188-192, 2007.
- MILOŠEVIC, M.; VUJAKOVIC, M.; KARAGIC, D. Vigour tests as indicators of seed viability. **Genetika**, Beograd, v. 42, n. 1, p. 103-118, 2010.
- MORAES, C. E. et al. Qualidade fisiológica de sementes de *Tabernaemontana fuchsiaefolia* A. DC em função do teste de envelhecimento acelerado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 213-223, 2016.
- OHLSON, O. C. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.
- PERTEL, J. et al. Alterações nos ácidos graxos durante o envelhecimento artificial de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Informativo ABRATES**, Brasília, DF, v. 13, n. 3, p. 81, 2003.
- ROCHA, C. S. et al. Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 428-434, 2018.

- SANTOS, P. et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-doce pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 91-96, 2002.
- SCALON, S. P. Q. et al. Armazenamento e tratamento pré-germinativos em sementes de jacarandá (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 179-185, 2006.
- SILVA, C. B. et al. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico de sementes de gramabermuda. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 102-107, 2010.
- SILVA, J. B.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Comportamento de sementes de cultivares de soja, submetidas a diferentes períodos de envelhecimento acelerado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 755-762, set./out. 2010.
- SOUZA, J. R. P. et al. Tempo de armazenamento e temperatura na porcentagem e velocidade de germinação das sementes de camomila. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 982-986, 2007.
- SOUZA, V. C.; BRUNO, R. L. A.; ANDRADE, L. A. Vigor de sementes armazenadas de ipê-amarelo *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 833-841, 2005.
- TOMES, L. J.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Factors influencing the tray accelerated aging test for soybean seed. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 12, n. 1, p. 24-35, 1988.
- VIEIRA, A. R. et al. Armazenamento de sementes de cafeeiro: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, p. 76-82, 2007.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M.; SADER, R. Testes de vigor e suas possibilidades de uso. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 31-47.

**ARTIGO 2 - TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM DIFERENTES
LOTES DE SEMENTES DE *Coffea arábica* L.**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

O café é comumente propagado, por meio de mudas produzidas por sementes, que apresentam baixa longevidade, o que dificulta a produção de mudas vigorosas, no momento ideal do plantio, sendo o uso de sementes com alto vigor fundamental para a formação de mudas de qualidade. O teste de envelhecimento acelerado tem se mostrado uma ferramenta importante, para a avaliação da qualidade das sementes, pois é um método sensível à avaliação do vigor, fornecendo informações confiáveis sobre o potencial fisiológico. No entanto, para sementes de café, há poucas informações quanto ao seu uso e eficiência como teste de vigor. Dessa forma, o objetivo foi testar metodologias do teste de envelhecimento acelerado, desenvolvidas para sementes de *Coffea arabica*, na avaliação de diferentes lotes. Para isso, foram utilizados sete lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arabica* L., cultivar Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaiam Asa Branca, Acauã, Arara, Guará e Topázio, duas temperaturas de incubação em BOD (44°C e 46°C) e quatro tempos de exposição (24, 48, 72, 96 horas). Foi utilizado o método do gerbox, com o uso de caixas plásticas transparentes, contendo 40 mL de água destilada no fundo do recipiente, promovendo uma umidade relativa de 100% no seu interior. Inicialmente foi feita uma caracterização dos lotes, por meio da determinação da umidade e testes de germinação, primeira contagem de germinação, matéria seca de parte aérea e radicular, condutividade elétrica e emergência de plântulas para comparar com os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado. Após cada período de envelhecimento, foi determinado o teor de água das sementes e foi realizada a avaliação da qualidade fisiológica, no teste de germinação, pela porcentagem de plântulas normais aos 30 dias. Empregou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade na comparação de médias. Concluiu-se que o teste de envelhecimento acelerado, realizado em uma temperatura de 46°C, por 48 horas, é a combinação mais adequada para comparar lotes de sementes de *Coffea arabica* com diferentes níveis de vigor.

Palavras-Chave: *Coffea arabica*, análise, controle de qualidade.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais commodities agrícolas no mercado internacional, sendo produzido por mais de cinquenta países, em diversos continentes, sendo o Brasil o principal produtor e exportador desse produto (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019).

A cafeicultura tem uma importância socioeconômica incontestável para o país, com uma cadeia produtiva complexa que, com o passar do tempo, vem priorizando a busca pela sustentabilidade de seus negócios, a fim de atender um mercado cada vez mais exigente. Vários fatores influenciam ao alcance de níveis adequados de produtividade, no entanto o estande de plantas é um dos principais fatores que interferem no potencial produtivo da lavoura. Neste sentido, para a formação de uma lavoura com um estande de plantas ideal, é inquestionável o plantio de mudas de alta qualidade, conseqüentemente, é de fundamental importância a utilização de sementes de elevada qualidade para a produção de mudas vigorosas.

Entretanto as sementes de café apresentam características fisiológicas que dificultam a manutenção da qualidade, durante o armazenamento, não conservando o seu poder germinativo em níveis satisfatórios por períodos superiores a 4-6 meses, após a colheita em temperatura ambiente (ARAÚJO et al., 2008). Por essa razão, a obtenção de mudas, muitas vezes, fica concentrada em épocas que nem sempre são as mais apropriadas para o plantio.

Neste contexto, o armazenamento de sementes de café, em câmara fria a 10°C, tem sido uma alternativa importante a um programa organizado de produção de sementes, na busca pela sua conservação até o momento ideal para a formação das mudas. Essa condição de armazenamento é uma alternativa que tem sido utilizada a fim de prolongar o período de viabilidade das sementes ou minimizar o processo de deterioração, o que tem sido possível por até nove meses (VIEIRA et al., 2007).

A manutenção da qualidade fisiológica das sementes de café, durante o armazenamento, é um dos maiores entraves no processo de produção e comercialização de sementes de café. Atualmente o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento exige que lotes de sementes de café apresentem germinação ou viabilidade mínima de 70% para serem comercializados. Todavia o teste padrão de germinação e de tetrazólio fornece apenas informações sobre o potencial máximo, para a formação de plântulas normais e de embriões viáveis, superestimando o potencial fisiológico, quando em condições adversas, acarretando em tomadas de decisões equivocadas quanto ao destino dos lotes.

Lotes de sementes podem apresentar germinação semelhante, mas potenciais fisiológicos diferentes (LARRÉ; ZEPKA; MORAES, 2007; MILOŠEVIC; VUJAKOVIC; KARAGIC, 2010). Além disso, os testes de vigor permitem obter respostas complementares às fornecidas pelo teste de germinação, possibilitando a obtenção de informações consistentes (OHLSON et al., 2010).

Assim, faz-se necessário o conhecimento do vigor das sementes como informação adicional, evidenciando o desempenho máximo das sementes sobre condições abióticas variadas, permitindo o controle de qualidade interno, decisões mais assertivas sobre o potencial fisiológico dos lotes.

Neste contexto, o teste de envelhecimento acelerado tem se destacado como um método eficiente para avaliar o potencial de armazenamento das sementes. Esse teste tem como princípio o aumento considerável da taxa de deterioração das sementes pela sua exposição à condição de elevada temperatura e umidade relativa do ar, fatores estes que intensificam o processo de deterioração (KRZIZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999).

Embora o teste seja utilizado com sucesso, para a avaliação do vigor e para predição do armazenamento em várias espécies, ainda existem poucas informações sobre o seu uso como teste de vigor em sementes de café.

Assim, objetivou-se com este trabalho testar metodologias do teste de envelhecimento acelerado, desenvolvidas para sementes de *Coffea arabica*, na avaliação de diferentes lotes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Sementes, do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil.

Frutos das cultivares Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaiam Asa Branca, Acauã, Arara, Guará e Topázio foram colhidas em estágio de maturidade fisiológica, em lavouras da Fazenda Experimental de Varginha, da Fundação Procafé (Programa Integrado de Apoio à Tecnologia Cafeeira).

Foram utilizados sete cultivares, e os frutos colhidos foram despulpados mecanicamente e as sementes foram desmuciladas por fermentação em água por período de 24 horas a 25°C. Posteriormente foram secadas em secador estático a 26°C até as sementes atingirem 12% de umidade. Após secagem, as sementes tiveram os pergaminhos removidos manualmente.

No teste de envelhecimento acelerado, foram utilizadas duas temperaturas, 44°C e 46°C e quatro tempos de exposição, 24, 48, 72 e 96 horas com quatro repetições. Foi usado o método do gerbox, em caixas plásticas transparentes com dimensões de 11 x 11 x 3 cm, contendo 40 mL de água destilada no fundo do recipiente, a fim de garantir umidade relativa próxima de 100%. As sementes foram distribuídas sobre as telas metálicas, em camada única, no interior das caixas plásticas, visando garantir a exposição uniforme ao ambiente interno. As caixas, contendo as sementes, foram lacradas e mantidas em estufa de incubação (BOD) sob temperatura e tempos definidos.

A análise inicial das sementes foi realizada, para a caracterização dos lotes, por meio da determinação do teor de água, teste de germinação, massa seca de parte radicular e parte aérea, condutividade elétrica, teste de tetrazólio para estimar a viabilidade e emergência em bandeja. Após cada período de incubação em BOD, para cada temperatura testada, no teste de envelhecimento acelerado, as sementes foram submetidas à determinação do teor de água, teste de germinação, massa seca de parte aérea e de parte radicular.

2.1 Testes fisiológicos

A determinação do **teor de água** foi realizada, por meio do método de estufa a 105°C, durante 24 horas, com quatro repetições de 25 sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem, com base no peso úmido das sementes, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes ou RAS (BRASIL, 2009).

O teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 50 sementes sem pergaminhos para cada tratamento, semeadas em rolos de papel de germinação, umedecidos com água destilada, na quantidade de duas vezes e meia o peso do papel seco. As sementes foram acondicionadas em germinador, regulado a 30° C, na presença de luz. Foi determinada a porcentagem de protrusão radicular, aos 15 dias após semeadura, em que foi computada, quando houve o rompimento do tegumento pela radícula e a porcentagem de plântulas normais, aos 30 dias após semeadura, conforme os critérios estabelecidos pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

A massa seca de raízes e massa seca de partes aéreas foram determinadas, após a última avaliação das plântulas obtidas, no teste de germinação, aos 45 dias após a semeadura. Foram secadas em estufa de circulação forçada de ar, em 60°C por 5 dias. Após esse período, a massa seca foi determinada em balança de precisão.

O teste de tetrazólio foi realizado em quatro repetições de 25 sementes de cada tratamento. As sementes, sem o pergaminho, foram embebidas por 36 horas a 30°C e os embriões foram extraídos e mantidos em solução de antioxidante polivinilpirrolidona (PVP), do momento da sua extração dos endospermas até serem colocados na solução de tetrazólio. Após a extração, os embriões foram lavados em água corrente com auxílio de uma peneira e embebidos em solução de tetrazólio 0,5%, utilizando-se frascos escuros e submetidos à temperatura de 30°C por 3 horas, como descrito na RAS (BRASIL, 2009), com modificações (CLEMENTE et al., 2011).

A análise da viabilidade dos embriões foi realizada com auxílio de lupa estereoscópica com aumento de 10 vezes. Para isso, foi realizado um corte longitudinal ao meio dos embriões, os quais foram classificados em viáveis e inviáveis de acordo com a localização e extensão dos danos (BRASIL, 2009).

O teste de condutividade elétrica foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, as quais foram pesadas, colocadas em copos com 75 mL de água deionizada e mantidas em temperatura de 25°C, protegidas da luz, em câmara tipo BOD. Após 24 horas de embebição, foi realizada a leitura da condutividade elétrica, por meio de condutivímetro Digimed CD-21, de acordo com metodologia descrita por Vieira, Carvalho e Sader (1994). Os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

Para a emergência em condições controladas, foram utilizadas bandejas plásticas contendo como substrato solo mais areia na proporção 2:1, no qual foram semeadas quatro repetições de 50 sementes de forma aleatória sobre uma camada de 2/3 do substrato. Após a semeadura as sementes, foram encobertas com 1/3 do substrato. Após o preparo, procedeu-se

à irrigação até que o substrato atingisse 60% da capacidade de campo. As bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à temperatura de 30°C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). Foi considerada a porcentagem de plântulas normais, aos 80 dias após a semeadura, quando ocorreu a estabilização da emergência das plântulas.

2.2 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4x7, sendo duas temperaturas de 44 e 46°C e quatro períodos de incubação em BOD e sete lotes de cultivares de *Coffea arábica*, com quatro repetições. Os resultados dos testes fisiológicos foram submetidos à análise de variância, por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014), sendo as médias comparadas por meio do teste de Scott-knott em nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização fisiológica dos lotes de sementes

Os resultados da germinação (G), protrusão radicular (PR), folhas cotiledonares (FCO), matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de parte radicular (MSPR) e condutividade elétrica (CE), para o perfil inicial das sementes de cultivares de *Coffea arabica*, apresentaram diferenças significativas, exceto as variáveis viabilidade (VB) e emergência em bandeja (E) não apresentaram diferenças significativas (Tabela 1).

De acordo com a qualidade fisiológica inicial, os lotes de sementes das cultivares testadas foram classificados em quatro grupos, para o teste de germinação. As cultivares Topázio, Asa Branca e Catucaí Amarelo apresentam médias superiores às demais, e a cultivar Arara a que teve pior desempenho. Pelos resultados de PR, FCO, MSPA e MSPR apresentados, as sementes das cultivares Topázio e Arara se comportaram de maneira semelhante ao observado, no teste de germinação, no entanto, para essas variáveis, as cultivares foram classificadas em 2, 3, 3 e 3 níveis de vigor, respectivamente. Para o teste de CE, não houve diferenças significativas entre os lotes testados.

Em relação à qualidade inicial das sementes das cultivares, nota-se que o teste de germinação e o teste de tetrazólio, que são considerados testes oficiais pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para a comercialização de sementes de *Coffea arabica* (BRASIL, 2009), foram menos sensíveis para a classificação do potencial fisiológico das cultivares, em relação ao demais testes de vigor avaliados, com exceção do teste de emergência em bandeja.

Tabela 1 - Caracterização da qualidade inicial de sementes de lotes de sete cultivares de *Coffea arabica* pelas variáveis, germinação (G), viabilidade (VB), protrusão radicular (PR), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), condutividade elétrica (CE) e emergência de plântulas (E).

Lotes	Cultivares	G (%)	VB (%)	PR (%)	FCO (%)	MSPA (g)	MSPR (g)	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	E (%)
1	Catucaí Amarelo	89a	97a	96a	25c	1,637a	0,309a	19,66a	43a
2	Catucaiam	79b	97a	89b	75 ^a	1,841a	0,287a	28,38a	41a
3	Asa Branca	90a	98a	94a	76 ^a	1,760a	0,347a	15,36a	58a
4	Acauã	79b	96a	87b	68 ^a	1,780a	0,306a	20,01a	41a
5	Arara	61c	93a	86b	25c	0,534c	0,091c	18,23a	25a
6	Guará	83b	96a	93a	48b	1,267b	0,184b	11,44a	33a
7	Topázio	96a	98a	97a	87 ^a	2,180a	0,325a	19,58a	51a
CV (%)		6,61	2,20	3,53	15,92	17,79	19,53	37,71	88,27

Fonte: Do autor (2019).

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Os resultados da germinação e da viabilidade classificaram os lotes de formas distintas, assim, o teste de tetrazólio superestimou a qualidade fisiológica das sementes em relação ao teste de germinação. Cervi e Mendonça (2009), estudando o teste de tetrazólio em sementes de algodão, relatou que podem ocorrer divergências entre os resultados do teste de germinação e o de tetrazólio, principalmente, em sementes com diferentes níveis de qualidade, pois, no teste de tetrazólio, somente o embrião é avaliado, não considerando a influência do endosperma nos resultados, como no teste de germinação, o que corrobora com o que foi observado neste trabalho.

Atualmente o teste de tetrazólio tem substituído o teste de germinação como teste oficial, para a comercialização das sementes de café, por sua rapidez para a avaliação da viabilidade das sementes de café. No teste de germinação, é necessário um período de 30 dias, o qual é considerado longo, tendo em vista que as sementes de café apresentam germinação lenta, demandando, no mínimo, seis meses para a obtenção das mudas para o plantio (BRASIL, 2009; ROSA et al., 2010). Neste contexto, entende-se que os testes oficiais recomendados, para a comercialização de sementes, mostram-se deficientes, ao fornecer informações mais consistentes sobre a qualidade das sementes de café, sendo necessário recorrer a testes de vigor, para mais informações, permitindo tomadas de decisões mais assertivas, seja em relação ao armazenamento ou à produção de mudas de qualidade.

Segundo McDonald (1980), o teste de germinação não prevê uma avaliação completa da qualidade do lote de sementes.

3.2 Teste de envelhecimento acelerado

O grau de umidade inicial das sementes apresentou diferenças inferiores a 2% entre as cultivares (Tabela 2). Esse é um requisito importante, para a realização de testes de vigor, pois, para a obtenção de resultados consistentes, é necessário que o teste seja instalado com amostras cujo teor de água não varia em mais de 2,0 pontos percentuais, visto que a absorção de água pelas sementes é um fator que pode interferir na interpretação dos dados do teste de envelhecimento acelerado, já que as sementes mais úmidas são mais sensíveis às condições do teste e, portanto estão sujeitas a uma deterioração mais intensa (MARCOS FILHO, 2015; SILVA; LAZARINI; SÁ, 2010).

Pelos teores de água das sementes, nos períodos de exposição no teste de envelhecimento acelerado a 44°C e 46°C (Tabela 2), não foram observadas diferenças superiores a 4%, o que é desejável, segundo Marcos Filho (1999), comprovando a uniformidade de condições na execução do teste dentro de cada tempo de exposição testado. De acordo com Krzyzanowski, Vieira e França Neto (1999), valores oscilando para mais ou para menos sugerem sementes com maior ou menor grau de deterioração.

Tabela 2 - Teor de água inicial e, após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arabica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46 °C e períodos de 24, 48, 72 e 96 horas de incubação em BOD.

Lote	Cultivares	0h	44°C				46°C			
			24h	48h	72h	96h	24h	48h	72h	96h
1	Catucaí Amarelo	13,88	25,06	33,89	36,89	41,06	24,96	35,63	37,51	41,76
2	Catucaiam	13,91	25,7	32,89	36,6	38,99	25,17	35,14	38,29	40,97
3	Asa Branca	13,97	25,23	34,88	36,1	39,79	24,98	35,52	37,86	42,37
4	Acauã	14,15	26,15	33,91	35,6	38,71	24,6	35,21	37,96	40,16
5	Arara	13,76	24,04	34,44	36,78	39,33	24,99	33,36	37,46	40,32
6	Guará	13,69	25,27	33,8	35,47	39,26	26,07	32,46	37,17	39,27
7	Topázio	14,36	25,68	33,62	36,26	39,05	24,26	34,94	38,26	40,47
Diferença	(%)	0,73	2,11	1,99	1,42	2,07	1,81	3,17	1,12	2,47

Fonte: Do autor (2019).

Verificou-se um acréscimo gradual no teor de água das sementes, à medida que se aumentou o tempo de exposição no teste de envelhecimento acelerado, independentemente da temperatura de incubação. Incrementos nos teores de água favorecem a elevação da temperatura das sementes, em decorrência dos processos respiratórios e da maior atividade de microrganismos. O aumento no tempo de exposição ao envelhecimento acelerado pode ter

proporcionado maior incremento na umidade das sementes condicionadas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Segundo Athié et al. (1998) e Bewley e Black (1994), a umidade é o fator que mais influencia a taxa respiratória das sementes. A respiração das sementes aumenta, consideravelmente, com o aumento da umidade e, em consequência, promove aumento na taxa de deterioração.

Quanto aos resultados do teste de envelhecimento acelerado, houve interação significativa entre os fatores temperatura, tempo de exposição e lote/cultivares (Tabela 3). Dentro de cada temperatura testada, foi observada uma tendência da porcentagem de germinação reduzir com o aumento do período de exposição ao teste (Figura 1), fato também observado por Binotti et al. (2008) e Santos, Menezes e Villela (2004). O avanço do processo de deterioração é determinado, principalmente, pela interação entre herança genética, o grau de umidade da semente e a temperatura (DELOUCHE, 2002). Esse fato corrobora com o que foi descrito por Marcos Filho (2005) sobre o teste de envelhecimento acelerado, em que a temperatura, o período de exposição, grau de umidade das sementes ou genótipo afetam o grau de deterioração fisiológica. Isso ocorre, porque o teste é considerado um método que simula condições de estresse, gerando alta respiração e consumo de reservas e, assim, provocando alterações degenerativas no metabolismo das sementes (MORAES et al., 2016).

Tabela 3 - Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete lotes de *Coffea arábica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46 °C e períodos de 24, 48, 72 e 96, horas de incubação em BOD.

Lote	Cultivares	44°C				46°C			
		24h	48h	72h	96h	24h	48h	72h	96h
1	Catucaí Amarelo 2 SL	89Aa	81Aa	43Bb	9Cc	89Aa	70Ba	7Cb	0Cb
2	Catucaiam	77Aa	84Aa	61Ba	3Cc	80Aa	74Aa	27Ba	11Ca
3	Asa Branca	80Aa	75Aa	61Ba	50Ba	79Aa	67Aa	18Bb	2Cb
4	Acauã	71Aa	72Aa	54Ba	20Bb	74Ab	57Bb	15Cb	21Ca
5	Arara	74Aa	78Aa	8Bc	0Bc	71Ab	58Ab	5Bb	0Cb
6	Guará	81Aa	80Aa	59Ba	5Cc	89Aa	80Aa	39Ba	14Ca
7	Topázio	87Aa	89Aa	9Bc	0Bc	62Ab	49Ab	1Bb	0Bb
CV%		20,8							

Fonte: Do autor (2019).

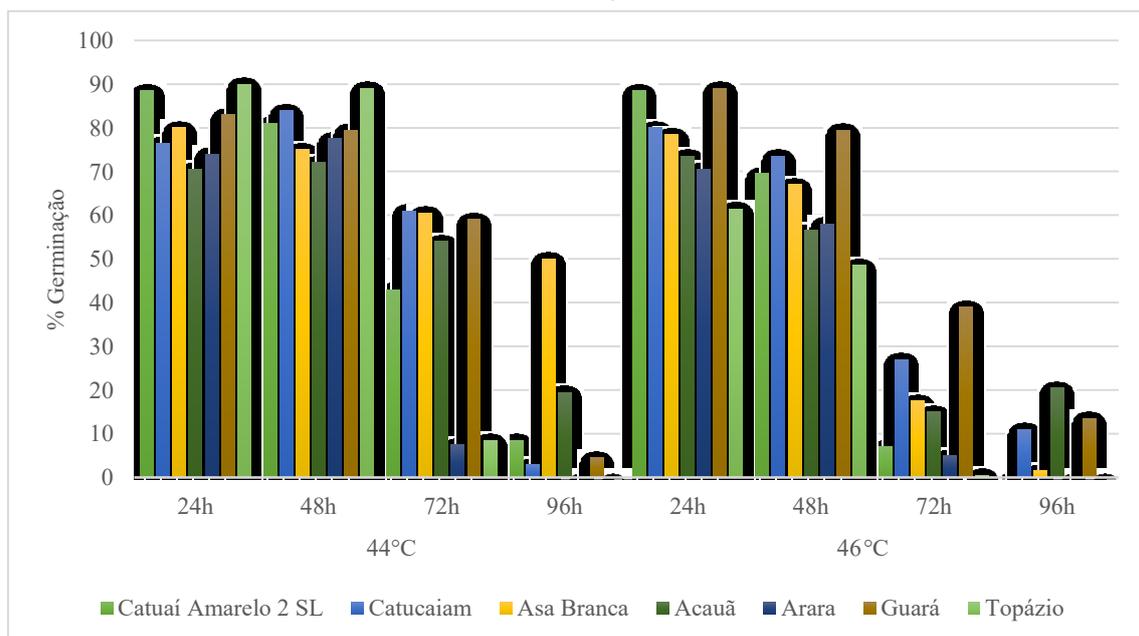
*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Com relação ao desdobramento das cultivares dentro de temperatura e tempo, na temperatura de 44°C, observou-se uma redução da germinação dos lotes das sementes, após

72 horas de exposição. Para o período de 72 horas, houve a classificação em três níveis de qualidade, sendo as cultivares Arara e Topázio as que apresentaram maiores níveis de deterioração para essa combinação de temperatura e tempo de exposição. No tempo de exposição de 96 horas à temperatura de 44°C, verificou-se uma redução drástica da germinação, para a maioria das cultivares, com sensibilidade na avaliação do vigor semelhante ao tempo de 72 horas, distinguindo apenas três grupos de vigor, sendo a cultivar Asa Branca a que mais resistiu ao processo de deterioração acelerada. Para os tempos de 24 e 48 horas de exposição à temperatura de 44°C, não foram observadas diferenças significativas na germinação entre os lotes.

Quanto à temperatura de 46°C (Tabela 3), verificou-se que houve diferenças significativas da germinação dos lotes de sementes a partir de 24 horas de exposição. No período de 24 horas, houve a separação em duas classes de vigor, sendo as cultivares Acauã, Arara e Topázio as que apresentaram médias inferiores às demais. Para o período de 48 horas, houve a separação dos lotes de sementes em dois níveis de vigor, sendo as cultivares Guará, Catucaiam e Asa branca as que mais resistiram à deterioração imposta pelo teste de envelhecimento acelerado. No período de 72 horas, foram categorizados dois níveis de vigor, sendo as cultivares Catucaiam e Guará as que mais resistiram aos efeitos da deterioração causada pelas condições no teste.

Figura 1- Germinação (%), após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arabica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46°C e períodos de 24, 48, 72 e 96, horas de incubação em BOD.



Fonte: Do autor (2019).

Neste contexto, pode-se inferir que a combinação da temperatura de 44°C e o período de 72 horas se mostrou sensível à avaliação do vigor, pois foi possível classificar as cultivares em dois grupos de vigor, com uma amplitude de 52% entre a cultivar com o maior e com o menor nível de deterioração, sendo a menor média observada de 8% de germinação. Na combinação de 44°C e período de 96 horas, apesar de apresentarem uma amplitude de 50%, mais da metade das cultivares apresentou percentuais de germinação inferiores a 10%, inferindo-se que, neste arranjo, o teste se comportou de forma drástica, sendo insensível à avaliação do vigor, já que mais da metade dos lotes está próximo de ficar ou está inviável.

Com a combinação de 46°C e 48 horas, foi possível classificar as cultivares em dois níveis de vigor, com uma amplitude de 31% entre a cultivar com o maior e a com menor nível de deterioração, sendo a menor média observada de 49% de germinação. Na combinação de 46°C e período de 72 horas, apesar de apresentar uma amplitude de 38% e estar classificando as cultivares em dois níveis de vigor, três das sete cultivares apresentaram percentuais de germinação inferiores a 10%, inferindo-se que, neste arranjo, o teste causou efeito drástico, sendo insensível à avaliação do vigor, já que mais da metade dos lotes está próximo da inviabilidade ou está inviável. Já o arranjo de 46°C e período de exposição 96 horas proporcionaram resultado semelhante ao de 72 horas, com maior parte dos lotes se situando próximo à inviabilidade total.

Em uma análise comparativa com o comportamento inicial dos lotes de sementes (Tabela 1), o teste envelhecimento acelerado apresentou um comportamento distinto para a avaliação do vigor. A cultivar Topázio que apresentava melhor média, no perfil inicial, para os testes oficiais de germinação e tetrazólio, quando foi submetida ao teste de envelhecimento acelerado, após o período de exposição de 72 horas e 24 horas, nas temperaturas de 44 e 46°C, respectivamente (Tabela 3), sofreu com a deterioração acelerada no teste, enquadrando-a na classe de lotes com vigor inferior. Na cultivar Arara, o potencial fisiológico foi inferior tanto na caracterização inicial como após o teste de envelhecimento acelerado.

Nota-se que o teste de envelhecimento acelerado teve maior sensibilidade, na detecção do vigor, visto que lotes que inicialmente apresentavam alto desempenho fisiológico pelo teste de germinação e tetrazólio, quando foram avaliados no teste de envelhecimento acelerado, foram caracterizados como de vigor inferior e aqueles lotes que já se enquadravam nesta classe permaneceram. Dessa forma, pode-se inferir que o teste de envelhecimento acelerado é capaz de prever o potencial de armazenamento de lotes de sementes de *Coffea arabica*, como descrito por Fantazzini et al. (2018) e que o teste pode ser utilizado de forma

adicional aos testes oficiais, com o intuito de amparar na tomada de decisão, a fim de tornar o controle de qualidade mais eficiente, como relatado por Bittencourt et al. (2012).

Visto que algumas características desejadas em um teste de vigor é que ele seja rápido, econômico, simples e útil (COPELAND; MCDONALD, 2001), a combinação dos parâmetros, indicada para o teste de envelhecimento, de acordo com o estudo para a avaliação do vigor, seria à temperatura de 46°C, e o período de exposição de 48 horas, pois é o mais rápido e o mais sensível.

Como descrito por Krzyzanowski, Vieira e França Neto (1999), uma das utilizações do teste de envelhecimento acelerado é auxiliar métodos de seleção em programas de melhoramento de plantas. Neste sentido, as combinações de 44°C e 72 horas e 46°C e 72 horas, para o teste de envelhecimento acelerado, mostrara-se promissoras a auxiliar na busca por genótipos de café tolerantes a altas temperaturas.

Com relação ao desdobramento do tempo dentro de temperatura e cultivares (Tabela 3), verificou-se que a combinação do período de 96 horas de exposição e temperatura de 44°C, para todas as cultivares, proporcionou redução na germinação; já para a temperatura de 46°C, percebeu-se um declínio da qualidade, em todas as cultivares, a partir de 72 horas de exposição. Deste modo, infere-se que a temperatura de incubação provoca efeitos mais deletérios à germinação que o tempo de exposição.

Tomes, Tekrony e Egli (1988) verificaram que a elevação da temperatura, no teste de envelhecimento acelerado, promove efeitos mais drásticos na germinação do que o prolongamento do período de exposição ao envelhecimento, corroborando com que foi observado no presente trabalho. Silva, Lazarini e Sá (2010) também constataram que o aumento da temperatura provoca efeitos mais drásticos na germinação de sementes do que o aumento do tempo de exposição.

Em estudos sobre o teste de envelhecimento acelerado, outros autores obtiveram resultados semelhantes aos verificados no trabalho; Borges, Castro e Borges (1990) com sementes de *Cedrela fissilis* L., Guedes et al. (2009) com sementes de *Erythrina velutina* Willd, Guedes et al. (2011) com sementes *Dalbergia nigra* (Vell.), Bertolin, Sa e Moreira (2011) para sementes de feijão Rocha et al. (2018) para sementes de milho pipoca e Aquino (2018) para *Piptadenia moniliformis* (Bent).

Em relação ao comportamento das cultivares de *Coffea arábica*, nota-se que as cultivares Arara, Topázio e Catucaí Amarelo 2 SL tiveram um decréscimo mais acentuado da germinação, à medida que se aumentava o período de exposição para ambas as temperaturas testadas. Já as demais cultivares apresentaram uma redução da germinação menos acentuada e

gradual, com destaque para a cultivar Acauã que apresentou desempenho semelhante para as duas temperaturas testadas. Esse comportamento pode ser atribuído a fatores fisiológicos, genéticos e sanitários das sementes.

No que se refere ao aparato fisiológico das sementes, compreende-se que a deterioração ocorre de forma mais acentuada quanto mais próximo da inviabilidade as sementes estiverem, o que é explicado pela curva de sobrevivência de sementes proposto por Ellis (1984). Sendo assim, pode-se inferir que as cultivares Arara, Topázio e Catucaí Amarelo 2 SL podem estar em um ponto na curva de sobrevivência mais adiante que as demais cultivares.

Em relação ao fator genético, Marcos Filho (1999) relata a influência do genótipo sobre o comportamento fisiológico das sementes. Dutra e Teófilo (2007) e Mavi e Demir (2007) observaram que lotes de sementes, provenientes de genótipos diferentes, com qualidade semelhante verificada, por meio do teste de germinação, apresentaram diferenças de qualidade nos testes de vigor. Essas diferenças podem ser atribuídas às características internas do aparato fisiológico intrínsecas a cada genótipo, em relação a diferenças em conteúdo de açúcares, lipídios, proteínas e enzimas que participam de forma conjunta na proteção do sistema fisiológico.

Quanto ao fator sanitário, Halloin (1996) relata que o prolongamento da exposição, no teste de envelhecimento acelerado, tende a favorecer a ação de patógenos sobre o processo de deterioração das sementes, interferindo nos resultados, sendo essa uma das prováveis razões da redução drástica da germinação, à medida que aumenta o período de exposição. A influência de fungos, como *Phomopsis* spp. e ou *Fusarium* spp., podem afetar os resultados do teste de envelhecimento acelerado. Essas são as duas espécies de fungos mais comuns no Brasil e, geralmente, são favorecidos por ambientes quentes e úmidos, cuja contaminação pode ocorrer ainda no campo, na pré e pós-colheita (DHINGRA; ACUÑA, 1997; HENNING; FRANÇA NETO, 1980).

As combinações de 44°C por 72 horas e 46°C por 72 horas, para o teste de envelhecimento acelerado, podem ser utilizadas como ferramenta, em programas de melhoramento genético, que busquem genótipos de café tolerantes a altas temperaturas.

4 CONCLUSÕES

O teste de envelhecimento acelerado realizado em temperatura de 46°C por 48 horas é a combinação mais adequada para separar lotes de sementes de *Coffea arabica* com diferentes níveis de vigor.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, G. S. M. Accelerated aging of *Piptadenia moniliformis* (BENTH.) seeds. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 3, p. 681-686, jul. 2018.
- ARAÚJO, R. F. et al. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despolpado e não despolpado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 71-78, 2008.
- ATHIÉ, I. et al. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p.
- BERTOLIN, D. C.; SA, M. E.; MOREIRA, E. R. Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 104-112, 2011.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2nd ed. New York: Plenum, 1994. 445 p.
- BINOTTI, F. F. S. et al. Efeito do período de envelhecimento acelerado no teste de condutividade elétrica e na qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 247-254, 2008.
- BITTENCOURT, S. R. M. et al. Metodologia alternativa para condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1360-1365, 2012.
- BORGES, E. E. L.; CASTRO, J. L. D.; BORGES, R. C. G. Avaliação fisiológica de sementes de cedro submetidas ao envelhecimento precoce. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 56-62, 1990.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 395 p.
- CARVALHO, N. M. de; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.
- CERVI, F.; MENDONÇA, E. A. F. Adequação do teste de tetrazólio para sementes de algodoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 177-186, jan. 2009.
- CLEMENTE, A. C. S. et al. Preparo das sementes de café para avaliação da viabilidade pelo teste de tetrazólio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 38-44, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: segundo levantamento**. Brasília, DF, 2019.
- COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. Massachusetts: Academic, 2001.
- DELOUCHE, J. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, Pelotas, n. 6, p. 24-31, 2002.

DHINGRA, O. D.; ACUÑA, R. S. **Patologia de sementes de soja**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1997. 119 p.

DUTRA, A. S.; TEÓFILO, E. M. Envelhecimento acelerado para avaliar o vigor de sementes de feijão caupi. **Revista Brasileira de sementes**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 193-197, 2007.

ELLIS, R. H. The meaning of viability. In: DICKIE, J. B.; LININGTON, S. H.; WILLIAMS, J. T. (Ed.). **Seed management techniques for genebanks**. Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1984. p. 146-178.

FANTAZZINI, T. B. et al. Association between the artificial aging test and the natural storage of coffee seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 164-172, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

GUEDES, R. S. et al. Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 443-450, 2011.

GUEDES, R. S. et al. Resposta fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. ao envelhecimento acelerado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 323-330, 2009.

HALLOIN, J. M. Microorganism and seed deterioration. In: MCDONALD, J. R.; NELSON, C. J. (Ed.). **Physiology of seed deterioration**. Madison: Crop Science Society of America, 1986. p. 89-99.

HENNING, A. A.; FRANÇA NETO, J. B. Problemas na avaliação da germinação de sementes de soja com alta incidência de *Phomopsis* sp. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 2, n. 3, p. 9-22, 1980.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218 p.

LARRÉ, C. F.; ZEPKA, A. P. S.; MORAES, D. M. Testes de germinação e emergência em sementes de maracujá submetidas a envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 708-710, jul. 2007.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-24.

- MAVI, K.; DEMIR, I. Controlled deterioration and accelerated aging tests predict relative seedling emergence potential of melpon seed lots. **HortScience**, Alexandria, v. 42, p. 1431-1435, 2007.
- MCDONALD, M. B. Assessment of seed quality. **Horticultural Science**, London, v. 15, p. 784-788, 1980.
- MILOŠEVIĆ, M.; VUJAKOVIĆ, M.; KARAGIĆ, D. Vigour tests as indicators of seed viability. **Genetika**, Beograd, v. 42, n. 1, p. 103-118, 2010.
- MORAES, C. E. et al. Qualidade fisiológica de sementes de *Tabernaemontana fuchsiaefolia* A. DC em função do teste de envelhecimento acelerado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 213-223, 2016.
- OHLSON, O. C. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.
- ROCHA, C. S. et al. Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 428-434, 2018.
- ROSA, S. D. V. F. et al. Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 38, n. 2, p. 421-431, July 2010.
- SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 110-119, 2004.
- SILVA, J. B.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Comportamento de sementes de cultivares de soja, submetidas a diferentes períodos de envelhecimento acelerado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 755-762, set./out. 2010.
- TOMES, L. J.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Factors influencing the tray accelerated aging test for soybean seed. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 12, n. 1, p. 24-35, 1988.
- VIEIRA, A. R. et al. Armazenamento de sementes de cafeeiro: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, p. 76-82, 2007.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M.; SADER, R. Testes de vigor e suas possibilidades de uso. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 31-47.

ANEXO A - TABELAS

Tabela 1A. Tabelas de análises de variância dos resultados da caracterização da qualidade inicial de lotes de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuai Amarelo – IAC62, pelas variáveis viabilidade (VB), germinação (G), protrusão radicular (PR), plântulas normais fortes (PNF), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE). (Artigo 1)

Variável analisada: GERM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	1	60.500000	60.500000	2.951	0.1366
erro	6	123.000000	20.500000		
Total corrigido	7	183.500000			
CV (%) =	4.99				
Média geral:	90.7500000	Número de observações:		8	

Variável analisada: VIABILD

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	1.125000	1.125000	0.871	0.3867
erro	6	7.750000	1.291667		
Total corrigido	7	8.875000			
CV (%) =	1.16				
Média geral:	97.8750000	Número de observações:		8	

 Variável analisada: FCO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	1	60.500000	60.500000	2.469	0.1671
erro	6	147.000000	24.500000		
Total corrigido	7	207.500000			
CV (%) =	5.42				
Média geral:	91.2500000	Número de observações:		8	

Variável analisada: PR

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	1	2.000000	2.000000	0.545	0.4881
erro	6	22.000000	3.666667		
Total corrigido	7	24.000000			
CV (%) =	1.95				
Média geral:	98.0000000	Número de observações:		8	

Variável analisada: NF

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	1	4.500000	4.500000	1.174	0.3202
erro	6	23.000000	3.833333		
Total corrigido	7	27.500000			
CV (%) =	7.46				
Média geral:	26.2500000	Número de observações:		8	

Variável analisada: MSPA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	0.024753	0.024753	1.497	0.2670
erro	6	0.099214	0.016536		
Total corrigido	7	0.123967			
CV (%) =	4.99				
Média geral:	2.5751250	Número de observações:		8	

Variável analisada: MSPR

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	0.003281	0.003281	4.355	0.0819
erro	6	0.004519	0.000753		
Total corrigido	7	0.007800			
CV (%) =	4.85				
Média geral:	0.5655000	Número de observações:		8	

Variável analisada: CE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	1.929055	1.929055	0.661	0.4472
erro	6	17.503319	2.917220		
Total corrigido	7	19.432374			
CV (%) =	16.61				
Média geral:	10.2823299	Número de observações:		8	

Variável analisada: EMERG

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	180.500000	180.500000	2.040	0.2032
erro	6	531.000000	88.500000		
Total corrigido	7	711.500000			
CV (%) =	11.10				
Média geral:	84.7500000	Número de observações:		8	

Variável analisada: IVE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	54.444613	54.444613	1.977	0.2094
erro	6	165.269575	27.544929		
Total corrigido	7	219.714187			
CV (%) =	18.64				
Média geral:	28.1637500	Número de observações:		8	

Tabela 2A. Tabelas de análises de variância dos resultados de erminação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí Amarelo – IAC62, lote 1, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD. (Artigo 1)

Variável analisada: GERM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMPERATUR	2	49112.000000	24556.000000	1163.179	0.0000
TEMPO	8	36831.333333	4603.916667	218.080	0.0000
TEMPERATUR*TEMPO	16	18905.333333	1181.583333	55.970	0.0000
erro	81	1710.000000	21.111111		
Total corrigido	107	106558.666667			
CV (%) =	6.84				
Média geral:	67.2222222	Número de observações:		108	

Tabela 3A. Tabelas de análises de variância dos resultados de germinação (%), após o envelhecimento acelerado de sementes de *Coffea arabica*, cultivar Catuai Amarelo – IAC62, lote 2, utilizando diferentes temperaturas e períodos de incubação em BOD. (Artigo 1)

Variável analisada: GERM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMPERATUR	2	42663.629630	21331.814815	1063.309	0.0000
TEMPO	8	36211.851852	4526.481481	225.628	0.0000
TEMPERATUR*TEMPO	16	20357.703704	1272.356481	63.422	0.0000
erro	81	1625.000000	20.061728		
Total corrigido	107	100858.185185			
CV (%) =	6.57				
Média geral:	68.1296296	Número de observações:	108		

Tabela 4A. Tabelas de análises de variância dos resultados da qualidade inicial de sementes de lotes de sete cultivares de *Coffea arabica* pelas variáveis, germinação (G), viabilidade (VB), protrusão radicular (PR), plântulas com folhas cotiledonares expandidas (FCO), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da parte radicular (MSPR), condutividade elétrica (CE) e emergência de plântulas (E). (Artigo 2)

Variável analisada: GERM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	3041.428571	506.904762	17.087	0.0000
erro	21	623.000000	29.666667		
Total corrigido	27	3664.428571			
CV (%) =	6.61				
Média geral:	82.3571429	Número de observações:		28	

Variável analisada: VB

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	61.714286	10.285714	2.298	0.0731
erro	21	94.000000	4.476190		
Total corrigido	27	155.714286			
CV (%) =	2.20				
Média geral:	96.2857143	Número de observações:		28	

Variável analisada: PROT

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	461.428571	76.904762	7.374	0.0002
erro	21	219.000000	10.428571		
Total corrigido	27	680.428571			
CV (%) =	3.53				
Média geral:	91.3571429	Número de observações:		28	

Variável analisada: FCO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	2904.928571	484.154762	17.659	0.0000
erro	21	575.750000	27.416667		
Total corrigido	27	3480.678571			

CV (%) = 15.92
 Média geral: 32.8928571 Número de observações: 28

Variável analisada: MSPA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	6.778988	1.129831	14.464	0.0000
erro	21	1.640426	0.078116		
Total corrigido	27	8.419415			

CV (%) = 17.79
 Média geral: 1.5713929 Número de observações: 28

Variável analisada: MSPR

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	0.204727	0.034121	12.803	0.0000
erro	21	0.055969	0.002665		
Total corrigido	27	0.260696			

CV (%) = 19.53
 Média geral: 0.2642857 Número de observações: 28

 Variável analisada: CE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	642.682371	107.113729	2.109	0.0953
erro	21	1066.415925	50.781711		
Total corrigido	27	1709.098296			
CV (%) =	37.61				
Média geral:	18.9496429	Número de observações:		28	

 Variável analisada: E

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	6	709.714286	118.285714	0.354	0.8996
erro	21	7020.000000	334.285714		
Total corrigido	27	7729.714286			
CV (%) =	88.27				
Média geral:	20.7142857	Número de observações:		28	

Tabela 4A. Tabelas de análises de variância dos resultados de germinação (%), após o envelhecimento acelerado de lotes de sementes de sete cultivares de *Coffea arabica*, utilizando as temperaturas de 44 e 46 °C e períodos de 24, 48, 72 e 96, horas de incubação em BOD. (Artigo 2)

Variável analisada: GERM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMP	1	8379.017857	8379.017857	86.802	0.0000
TEMPO	3	188339.767857	62779.922619	650.369	0.0000
LOTE	6	11497.857143	1916.309524	19.852	0.0000
TEMP*TEMPO	3	4820.339286	1606.779762	16.645	0.0000
TEMP*LOTE	6	3139.857143	523.309524	5.421	0.0000
TEMPO*LOTE	18	11894.857143	660.825397	6.846	0.0000
TEMP*TEMPO*LOTE	18	7970.285714	442.793651	4.587	0.0000
erro	168	16217.000000	96.529762		
Total corrigido	223	252258.982143			
CV (%) =	20.80				
Média geral:	47.2410714	Número de observações:	224		