



GABRIEL CASTANHEIRA GUIMARÃES

**INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS PARA A
REDUÇÃO DO TEMPO DE AVALIAÇÃO DO
POTENCIAL GERMINATIVO DE SEMENTES
DE CAFÉ**

**LAVRAS- MG
2012**

GABRIEL CASTANHEIRA GUIMARÃES

**INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERMINATIVO DE 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.

Orientadora

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa

**LAVRAS- MG
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Guimarães, Gabriel Castanheira.

Investigação de métodos para a redução do tempo de avaliação do potencial germinativo de sementes de café / Gabriel Castanheira Guimarães. – Lavras : UFLA, 2012.

82 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. 2. Teste de germinação. 3. Vigor. 4. Análise de imagem. 5. SVIS®. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.521

GABRIEL CASTANHEIRA GUIMARÃES

**INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERMINATIVO DE 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.

Aprovada em 27 de julho de 2012

Dr. André Delly Veiga IFSULDEMINAS

Dr. Antônio Rodrigues Vieira EPAMIG

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa

Orientadora

**LAVRAS- MG
2012**

*Aos meus pais, Renato e Heloisa, por sempre me guiarem na direção certa
com amor e compreensão.*

*Aos meus irmãos, Nilson César e Renata pela força e companheirismo.
A minha namorada Marina, por estar sempre ao meu lado, apoiando-me
em todos os momentos.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo o que acontece em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura por possibilitar a realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da Bolsa de estudos.

À Pesquisadora Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa, pela orientação, pela confiança, pelos ensinamentos, paciência e sempre acreditar em minha capacidade me incentivando.

Aos professores e pesquisadores do Setor de Sementes, João Almir Oliveira, Maria Laene Moreira de Carvalho, Antônio Rodrigues Vieira e Édila Vilela de Rezende Von Pinho, pelos ensinamentos, contribuições e amizade.

Aos funcionários do Laboratório Central de Sementes, pela disponibilidade e atenção durante a realização dos experimentos.

Aos bolsistas, Felipe e Gabriel, e a todos os estudantes de iniciação científica e estagiários pelo companheirismo e ajuda nos experimentos.

Aos amigos pelos conselhos, carinho e por proporcionarem muitos momentos inesquecíveis.

À Marli, secretária do Programa de Pós em Fitotecnia, pelo auxílio nessa caminhada.

MUITO OBRIGADO!

“A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original”.

(Albert Einstein)

RESUMO

A lenta germinação de sementes de café dificulta a rápida avaliação do potencial germinativo e do vigor das sementes, em razão do excessivo tempo requerido para a obtenção dos resultados dos testes atualmente utilizados. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de investigar métodos alternativos para avaliar e atestar a qualidade fisiológica de sementes de café. Dois trabalhos foram desenvolvidos, para avaliar o potencial das sementes de café em produzir plantas normais. De acordo com resultados recentes de pesquisas, é possível avaliar todas as partes de uma plântula de café em estádios precoces do seu desenvolvimento. No primeiro trabalho testou-se a eficiência destes estádios para atestar a germinação de dez lotes de sementes, investigando, desta forma, a possibilidade de reduzir o tempo do teste padrão de germinação de sementes de café. No segundo trabalho objetivou-se verificar a eficiência de análises de imagens computadorizadas de plântulas para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de café. Resultados de pesquisas têm mostrado que é possível utilizar sistemas computadorizados, como o *Seed Vigor Image System (SVIS®)*, para avaliar a qualidade fisiológica das sementes. Desta forma, resultados da avaliação de dez lotes de sementes de café, realizada por meio de vários testes, foram comparados aos resultados da análise computadorizada da imagem das plântulas oriundas destas sementes. Pelos resultados do primeiro trabalho observa-se que a avaliação de plântulas de café aos 18 dias, em estádio S1(critério de avaliação em que as plântulas são mais precoces), proporciona o mesmo resultado do teste padrão, permitindo redução significativa do tempo para atestar a germinação de um lote de sementes; a avaliação de plântulas de café no estádio S2(critério de avaliação em que as plântulas são mais tardias) não permite redução significativa do tempo de avaliação da germinação de sementes de café, em relação ao teste padrão. Do segundo trabalho, conclui-se que, embora estudos mais conclusivos sobre o uso de imagens computadorizadas sejam necessários, o processamento de imagens no SVIS® para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de café é uma ferramenta promissora.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. avaliação da qualidade fisiológica. teste de germinação. Vigor. análise de imagem. SVIS®.

ABSTRACT

The slow coffee germination makes it difficult to rapid assessment of the germination and the seed vigor, due to the excessive time required obtaining the results of the tests currently used. The objective of this study was to investigate alternative methods to evaluate and certify the physiological quality of coffee seeds. Two studies were made to evaluate the potential of coffee beans to produce normal plants. According to recent research findings, it is possible to evaluate all parts of coffee seedlings in early stages of its development. In the first study tested the efficiency of these stages in order to demonstrate the germination of seeds of ten lots, investigating, thus the possibility of reducing the time pattern of germination of coffee seeds. In the second study aimed to verify the efficiency of computerized image analysis for seedling vigor evaluation of coffee seeds. Results of research have shown that it is possible to use computerized systems, such as the Seed Vigor Image System (SVIS®), to evaluate the physiological quality of seeds. Therefore, results of the ten seed lots of coffee, made by means of several tests, compared to the results of computerized image analysis of these plants originated from seeds. The results of the first study shows that the evaluation of coffee seedlings 18 days, in stage S1 (assessment criterion in which seedlings are earlier), provides the same result of the pattern, allowing a significant reduction of time in order to demonstrate germination of a batch of seeds, the seedling evaluation coffee in Step S2 (the assessment criterion in which seedlings are later) does not allow significant reduction of time for evaluating the germination of coffee, in relation to the pattern ; The second study, we conclude that, although more conclusive studies about the use of computerized images are needed, the image processing in SVIS® to evaluate the physiological quality of coffee seeds is a promising tool.

Keywords: *Coffea arabica* L.. physiological quality evaluation. germination test. Vigor. image analysis. SVIS®.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Resultados da caracterização dos lotes de sementes de café, por meio do teste de germinação e determinação do teor de água. UFLA, Lavras – MG, 2012	41
Tabela 2	Percentuais médios de plântulas no estádio S1, de diferentes lotes de sementes de <i>Coffea arabica</i> L., obtidos em dias consecutivos de avaliação. UFLA, Lavras – MG, 2012.....	43
Tabela 3	Percentuais médios de plântulas no estádio S2, de diferentes lotes de sementes de <i>Coffea arabica</i> L., obtidos em dias consecutivos de avaliação. UFLA, Lavras – MG, 2012.	44
Tabela 4	Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado não-linear, com resposta em platô, das regressões quadráticas (a, b, c), coeficientes de determinação (R^2) e coordenadas dos thresholds (tempos mínimos de avaliação; porcentagem de plântulas em S1 no platô) de sementes de café.	46
Tabela 5	Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado não-linear, com resposta em platô, das regressões quadráticas (a, b, c), coeficientes de determinação (R^2) e coordenadas dos thresholds (tempos mínimos de avaliação; porcentagem de plântulas em S2 no platô) de sementes de café.	47
Figura 1	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S1, do lote 224.	48

Figura 2	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 228.	48
Figura 3	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 245.	49
Figura 4	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 253.	49
Figura 5	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 254.	50
Figura 6	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 256.	50
Figura 7	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 263.	51
Figura 8	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 266.	51
Figura 9	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 267.	52
Figura 10	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estágio S1, do lote 285.	52

Figura 11	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 224.	53
Figura 12	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 228.	53
Figura 13	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 245.	54
Figura 14	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 253.	54
Figura 15	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 254.	55
Figura 16	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 256.	55
Figura 17	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 263.	56
Figura 18	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 266.	56
Figura 19	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 267.	57

Figura 20	Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de <i>Coffea arabica</i> L., em estádio S2, do lote 285.	57
Figura 21	Plântula de café no estádio S1 e aspecto da diferenciação celular para o crescimento da raiz lateral. UFLA, Lavras – MG, 2012.....	58

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Teste de médias para diferentes testes realizados, Imagem 14 dias, Imagem 16 dias, Imagem 18 dias, Normais 30 dias (N30), Normais forte (Norm Forte), Folhas cotiledonares (FlsCotil), Matéria seca de plântulas e de parte aérea.	72
Tabela 2	Tabela 2 Índices de correlação entre os testes realizados nesta pesquisa.....	73

ANEXO

Figura 1A	Resultados da Análise de Variância das avaliações no estádio S1.....	77
Figura 2A	Resultados da Análise de Variância das avaliações no estádio S2.....	77
Figura 3A	Resultados da Análise de Variância das avaliações no estádio S3.....	78
Figura 4A	Resultados da Análise de Variância das plântulas normais fortes.....	78

Figura 5A Resultados da Análise de Variância das plantas com folhas cotiledonares aparentes.....	79
Figura 6A Resultados da Análise de Variância das plântulas com imagem capturada aos 14 dias.....	79
Figura 7A Resultados da Análise de Variância das plântulas com imagem capturada aos 16 dias.....	80
Figura 8A Resultados da Análise de Variância das plântulas com imagem capturada aos 18 dias.....	80
Figura 9A Resultados da Análise de Variância da matéria seca de plântulas.....	81
Figura 10A Resultados da Análise de Variância da matéria seca de parte aérea.....	81
Figura 11A Resultados da Análise de Variância para as plântulas normais aos 30 dias.....	82

SUMÁRIO

	CAPITULO 1 Referencial Teórico	15
1	Sementes de café	16
2	Germinação de sementes	17
2.1	Processo de germinação de sementes de café	19
2.2	Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café	22
3	Análise de Imagens	23
	REFERÊNCIAS	26
	CAPÍTULO 2 Estudos para a definição do tempo mínimo para avaliar o potencial germinativo das sementes de café	31
1	INTRODUÇÃO	34
2	MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1	Caracterização dos lotes de sementes	36
2.2	Instalação do experimento	37
2.3	Análises estatísticas	38
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60
	CAPÍTULO 3 Análise computadorizada de plântulas para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de café	62
1	INTRODUÇÃO	65
2	MATERIAL E MÉTODOS	67
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS	75

CAPÍTULO 1 Referencial Teórico

1. Sementes de café

As sementes são estruturas biológicas que “guardam” em seu interior, milhares de anos de seleção enfrentando situações adversas. As sementes geralmente são constituídas por tecido de reserva endospermático ou cotiledonar e eixo embrionário, ambos protegidos por uma cobertura, que tem o importante papel de regulador da germinação (KIGEL; GALILI, 1995).

A semente de café é constituída por embrião, endosperma e um envoltório representado por uma película prateada ou espermoderma. Tem formato plano convexo, elíptica ou oval, sulcada longitudinalmente na face plana. O endosperma é composto por células poliédricas de paredes muito espessas onde as hemiceluloses apresentam uma função de reserva (DEDECA 1957 citado por RENA; MAESTRI, 1985). Segundo Shimizu e Mazafera (1999), o endosperma é o tecido de reserva da semente de café e representa 95% da massa seca da semente, contendo cerca de 10 a 14% de proteínas e 0,5 a 2% de aminoácidos. Segundo Pimenta (2003), o café arábica contém 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; 3 a 5,4% de minerais. Essa composição é influenciada por diversos fatores como a genética da planta, o clima, da região, os métodos de colheita e o armazenamento das sementes (GODINHO et al., 2000; PIMENTA; COSTA; CHAGAS, 2000).

A parte lipídica do café é, em sua maioria, composta de triacilgliceróis, esteróis e tocoferóis, componentes encontrados em todo óleo vegetal comestível comum. O chamado óleo de café contém diterpenos da família dos kaurenos, em de até 20 % dos lipídeos totais (SPEER; KOLLING-SPEER, 2006).

A maioria dos açúcares presentes nas sementes de café arábica são os açúcares não-redutores, em especial a sacarose, sendo os açúcares redutores encontrados em pequenas quantidades (CARVALHO; CHALFOUN; CHAGAS, 1989). Em relação aos açúcares livres predominantes estão a glicose, frutose e sacarose, com maior quantidade de sacarose (ROGERS et al., 1999).

As reservas de polissacarídeos podem estar presentes nas paredes das células dos cotilédones e dos endospermas, denominadas paredes de reserva (BUCKERIDGE; PANEGASSI; DIETRICH, 2000). Assim como em outras espécies, a fração de hemicelulose das paredes celulares do endosperma são constituídas principalmente de mananas e de galactomananas, que são polissacarídeos depositados como fonte de reserva das sementes.

Segundo Buckeridge, Panegassi e Dietrich (2000), os polissacarídeos de reserva presentes em paredes celulares são classificados em três grupos distintos: os mananos, os xiloglucanos e os galactanos, sendo os mananos subdivididos em mananos puros, glucomananos e galactomananos. As substâncias de reserva presentes no tecido servirão como fontes nutritivas, utilizadas para o desenvolvimento da plântula, sendo degradado durante a germinação (BEWLEY; BLACK, 1994).

2. Germinação de sementes

A germinação é definida como a retomada do crescimento do eixo embrionário após a separação da semente da planta mãe, começando pela absorção de água. Segundo Marcos Filho (2005), as seguintes fases poderiam ser descritas durante o processo de germinação de sementes: reidratação, aumento da respiração, formação de enzimas, digestão enzimática de reservas,

mobilização e transporte de reservas, assimilação metabólica e crescimento e diferenciação dos tecidos.

Esse processo inicia-se pela absorção de água das sementes e termina com o alongamento do eixo embrionário, normalmente a radícula (BEWLEY; BLACK, 1994). Para protrusão radicular acontecer, a força do embrião deve ser maior que a resistência mecânica das camadas exteriores de tecidos. Nas espécies em que o endosperma tem uma grande força de retenção tem se mostrado que um enfraquecimento por uma degradação hídrica nas paredes celulares vai facilitar a radícula a superar a força do endosperma (BEWLEY, 1997).

De acordo com Bewley e Black (1994), existe um padrão trifásico para explicar a embebição e esse é amplamente aceito na comunidade científica como o que melhor explica esses eventos. A primeira fase ocorre tanto em sementes vivas quanto mortas, é caracterizada pela rápida absorção de água, em virtude da presença de uma grande diferença de potencial matricial entre a água e os tecidos secos das sementes, ocorrendo também a retomada de crescimento do embrião. Na segunda fase a absorção de água é quase nula, praticamente inexistindo diferenças entre os potenciais hídricos de semente e substrato. Nesta fase, ocorre o transporte ativo de substâncias em direção ao tecido meristemático. O final desta fase se caracteriza pelo súbito acréscimo de água, podendo as sementes atingir 40 e 60% de umidade, respectivamente, para as endospermáticas e cotiledonares. A terceira fase se refere ao crescimento do eixo embrionário, ocorrendo a reorganização de substâncias desdobradas em compostos de maior complexidade e aumento na atividade bioquímica, culminado com a protrusão da radícula.

2.1. Processo de germinação de sementes de café

A lenta germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) permanece não esclarecida, embora seja evidenciada em estudos sobre aspectos fisiológicos desta espécie. Não se sabe ainda a verdadeira causa desta lenta germinação, embora várias causas sejam apontadas, tais como a influência do endocarpo (pergaminho) (GUIMARÃES, 1995; RENA; MAESTRI, 1986; ROSA et al., 2007b; VÁLIO, 1976), a baixa absorção de água e O₂ (BENDAÑA, 1962; VÁLIO, 1980), o balanço hormonal (SILVA et al., 2004; VÁLIO, 1976) e a presença de inibidores naturais (FRIEDMAN; WALLER, 1983a, 1983b; PEREIRA et al., 2002; ROSA et al., 2006, 2007a; WALLER et al., 1986).

Para sementes de café, Camargo (1998) concluiu que a embebição segue o padrão trifásico, que a fase I foi completada próximo as 144 horas de embebição e que a fase III foi atingida somente 228 horas após o início da embebição.

Outro fator que influencia bastante na germinação é a temperatura, e a faixa ótima para a germinação de sementes de café é 25/35°C e temperaturas acima de 35°C são prejudiciais, podendo até impedir o processo (BAUMANN; GABRIEL, 1984). Para a realização do teste de germinação em laboratório, recomenda-se a temperatura de 30°C, sendo necessários aproximadamente 30 dias para obtenção do resultado. Em virtude do tempo exigido para realização desse teste, alguns inconvenientes como a predisposição ao ataque de patógenos, alterações do substrato e condições de umidade são passíveis de ocorrer dificultando, muitas vezes, a interpretação dos resultados, levando a dúvidas com relação ao verdadeiro estado fisiológico dessa semente (DIAS; SILVA, 1986).

Silva (2002), estudando o mecanismo e a regulação da germinação de sementes de café, verificou que a protrusão da radícula sob condições ideais

(30°C, no escuro), iniciou-se em torno do quinto dia de embebição e que, no décimo dia de embebição, 50% das sementes apresentaram protrusão radicular e no décimo quinto dia a maioria das sementes germinou. Na germinação, os polissacarídeos (galacto-mananas) são degradados pela ação de enzimas, como endo- β -mananase, β -manosidase e galactosidase resultando no enfraquecimento das paredes celulares do endosperma. O mesmo autor sugere que o processo de germinação de sementes de cafeeiro segue um padrão bifásico. A primeira fase ocorre durante os primeiros cinco dias de embebição e inclui a hidratação completa da semente (até terceiro dia) e a segunda fase estende do quinto dia até a protrusão da radícula (décimo dia).

Recentemente, estudos foram realizados com objetivo de acelerar a avaliação da germinação de sementes de café e disponibilizar o boletim de análise mais rapidamente, antecipando o processo de formação de mudas (ROSA et al., 2011). De acordo com os resultados deste trabalho, todas as partes de uma plântula podem ser identificadas num tempo inferior ao período de 30 dias preconizado pelas RAS (BRASIL, 2009). Rosa et al. (2011) identificaram seis estádios da plântula de café, com base em mudanças morfológicas consistentes e visíveis. O modelo de crescimento de plântulas de café, obtido neste trabalho, demonstrou que todas as partes essenciais de uma plântula de café podem ser avaliadas nos estádios S1 e S2, os quais ocorrem aos 12 e 15 dias, indicando que o teste de germinação pode ser substancialmente reduzido para a obtenção mais rápida dos resultados da avaliação da qualidade fisiológica de um lote de sementes de café.

Na fase S1 (Seedling 1 - Eixo Hipocótilo Radícula), segundo Rosa et al. (2011), o hipocótilo emerge, apresentando uma cor rósea, distinta da radícula de coloração branca, a qual tem forma de “ponta de seta”, o que ocorre como um resultado do alargamento da região da junção entre o hipocótilo e a raiz principal (colo), causado pelo início do desenvolvimento dos primórdios das raízes

laterais a partir do periciclo celular. Já a fase S2 (Seedling 2 - Primórdios das Raízes Laterais) é caracterizada pelo aparecimento dos primórdios nas superfícies das raízes laterais, na região da junção entre o hipocótilo e a raiz primária.

Na fase S3 (Seedling 3- raízes laterais no colo) observa-se o crescimento das primeiras raízes laterais no colo, bem como a presença de primórdios de raízes laterais e pelos absorventes na raiz primária. Posteriormente, foram caracterizadas as fases S4 (Seedling 4 – Raízes laterais), em que as plântulas possuem pelo menos duas raízes laterais bem definidas e são observados pelos absorventes ao longo da superfície de todas as raízes, com exceção dos ápices destas. A fase S5 (Seedling 5 – folhas cotiledonares) foi caracterizada pela presença de folhas cotiledonares, o que ocorre após 30 dias. Com a caracterização dessas fases, é possível identificar as estruturas essenciais nas fases S1 e S2, possibilitando a avaliação da germinação em fases anteriores à S3 e S4 (ROSA et al., 2011).

Estes trabalhos são realizados no sentido de amenizar o problema das sementes de café germinarem de forma lenta, aumentando consideravelmente o período de formação das mudas, além de apresentarem baixa longevidade. Em virtude da lenta germinação das sementes de café, aliada à rápida perda do poder germinativo, quando se obtém o resultado do teste de germinação, este pode não refletir o verdadeiro estado fisiológico da semente e em tempo hábil (DIAS; SILVA, 1986). O método tradicionalmente usado para avaliar a qualidade fisiológica de sementes se baseia na realização do teste de germinação que, para sementes de café, demanda no mínimo 30 dias.

A germinação avaliada aos 30 dias (BRASIL, 2009), nos testes convencionais, pode trazer prejuízos para cadeia produtiva do café como a diminuição da qualidade em que essas sementes são comercializadas.

2.2. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café

Em tecnologia de sementes, a germinação é definida como a emergência e o desenvolvimento, a partir do embrião, das estruturas essenciais, as quais para a espécie em questão são indicativas da capacidade da semente em produzir uma planta normal, sob condições favoráveis (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - AOSA, 1998).

É de fundamental importância a avaliação da qualidade fisiológica de sementes, o que envolve testes de germinação e de vigor, durante as etapas do processo produtivo. O teste de germinação e a emissão de boletim de análise são atividades obrigatórias no Sistema Nacional de Produção de Sementes e Mudas (SNSM). No caso das sementes de café, as Regras para Análises de Sementes-RAS estabelecem um período de 30 dias para a realização do teste de germinação, obtenção do resultado e a emissão do boletim de análise, sendo este necessário à comercialização das sementes aos produtores de mudas.

No entanto, este período de 30 dias é considerado longo, tendo em vista que as sementes de café apresentam lenta germinação e a produção das mudas também é lenta, demandando um período mínimo de seis meses para a obtenção das mudas prontas para o plantio.

Uma alternativa para rápida determinação da viabilidade de sementes de café é o teste de tetrazólio, com obtenção de resultados em aproximadamente 48 horas (CLEMENTE; CARVALHO; GUIMARÃES, 2012; DIAS; SILVA, 1986; VIEIRA et al., 1998). A utilização do teste de tetrazólio é autorizada pelo Ministério da Agricultura, no entanto, são observadas algumas limitações para sua utilização. Uma delas é o procedimento de avaliação do teste que exige um treinamento especial do analista sobre as estruturas embrionárias da semente e técnicas de interpretação do teste. Além disso, os resultados são estimativas do

potencial germinativo da semente, o que superestima o valor germinativo do lote, por isso é considerado um teste complementar ao teste de germinação.

Testes que possam reduzir o tempo de avaliação do potencial fisiológico das sementes de café podem permitir a tomada de decisões antecipadas, durante as operações de colheita, recepção, beneficiamento, comercialização e formação de mudas, diminuindo riscos e prejuízos.

Para avaliação do vigor de sementes de café, são destacados na literatura os testes de massa seca de plântulas, primeira contagem da germinação, teste de emergência de plântulas e velocidade de emergência de plântulas.

A padronização de métodos alternativos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes assume grande importância para que as análises realizadas em laboratórios distintos forneçam resultados comparáveis e consistentes. Assim, a redução do tempo do teste de germinação nos laboratórios seria altamente favorável para a produção e comercialização de sementes de café, dando maior flexibilidade e autonomia às atividades de produção, comercialização, utilização e fiscalização das sementes. A redução do tempo do teste de germinação reduz a necessidade de equipamentos, de instalações e de pessoal nos laboratórios, e, no caso de sementes de café, é importante particularmente, tendo em vista a lenta germinação das sementes, o que leva a um consequente atraso para a comercialização das sementes e produção das mudas.

3. Análise de imagens

O desenvolvimento de testes mais rápidos para avaliação da viabilidade das sementes pode agilizar o processo produtivo, além de contribuir para melhor eficácia na utilização dos equipamentos nos laboratórios de análise de sementes.

A avaliação da viabilidade de sementes, por meio da análise de imagens de plântulas, é apresentada como objetiva, econômica e fácil de ser executada (HOFFMASTER et al., 2003). A análise de imagens digitais consiste no reconhecimento da cena para a geração de características dimensionais, como áreas ou comprimentos de objetos, ou atributos, como padrões de cores e texturas, e a sua mensuração por meio de métodos de contagem ou frequência dos elementos formadores da imagem denominados “pixels”, do inglês “pictures elements” que foi abreviado para “pics els” e então fundido gerando o termo “pixels”. Para o processamento de imagens digitais foram desenvolvidos algoritmos de computação, que devidamente sistematizados são a base para a análise de imagens digitais, podendo esta ser caracterizada pelo arquivamento de dados e ou comparação de padrões (HOFFMASTER et al., 2003).

Assim, pode-se concluir que a análise de imagens digitais tem grande potencial para uso na determinação do vigor de sementes. Essa técnica possibilita a análise dimensional de imagens com rapidez e precisão, sendo o resultado, a extensão total de cada plântula, via quantificação computadorizada, do comprimento de suas partes. Hoffmaster et al. (2003), trabalhando com sementes de soja, verificaram que o teste de comprimento de plântulas, por meio da análise de imagens, foi eficiente, pois foram obtidas medidas exatas e padronizadas de cada plântula, sendo uma alternativa ao método manual. A técnica também se mostrou eficiente para avaliar o vigor de sementes de algodão, *Impatiens* (HOFFMASTER et al., 2003) e melão (MARCOS FILHO et al., 2006).

Existem pesquisadores que determinam o comprimento médio das plântulas normais ou de uma de suas partes, como a raiz primária, mas esses procedimentos, em função da morosidade e da subjetividade provocada pela falta de padronização para a avaliação dos parâmetros, têm sido pouco utilizados (EDJE; BURRIS, 1970).

Utilizando a análise de imagens, Gunasekaran, Cooper e Berlage (1988) avaliaram danos provocados por patógenos em sementes de soja e de milho, enquanto Zayas, Converse e Steele (1990) avaliaram danos mecânicos em sementes de milho. Utilizando a análise de imagens, para identificar os efeitos dos danos mecânicos sobre a germinação de sementes de milho, Cicero et al. (1998) concluíram que a técnica pode ser utilizada para avaliar danos mecânicos, localizados externa e internamente nas sementes, diretamente relacionados com as anormalidades de plântulas ou com a morte dos embriões.

Silva (2009), trabalhando com imagens digitais na avaliação do vigor de sementes de nabo forrageiro, concluiu que o crescimento é um parâmetro mais sensível do que a uniformidade no teste SVIS[®] (Seed Vigor Image System), para a distinção de lotes de sementes e que a configuração de 70% para o crescimento e 30% para uniformidade foi eficiente para detecção de diferenças de vigor entre os lotes.

Diante disto, tem sido presenciada uma evolução favorável ao aperfeiçoamento de técnicas computadorizadas, mais sensíveis para a captação e mais precisas para o processamento e extração de informações úteis para a indústria de sementes, definindo-se uma amplificação de sensibilidade por vias digitais (TEIXEIRA; CICERO; DORADO NETO, 2003). Vilela et al. (2009) concluíram que a utilização do SVIS[®] para sementes de café mostrou-se potencialmente capaz de avaliar e diferenciar lotes de diferentes níveis de vigor.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Rules for testing seeds**. Las Cruces, 1998. 888 p.
- BAUMANN, T. W.; GABRIEL, H. Metabolism and excretion of caffeine during germination of *Coffea arabica* L. **Plant and Cell Physiology**, New York, v. 25, p. 1431-1436, 1984.
- BENDAÑA, F. E. Fisiología de las semillas de café: problemas relativos al almacenamiento, café. **Turrialba**, San José, v. 4, p. 99-106, 1962.
- BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**, Rockville, v. 9, n. 7, p. 1055-1066, July 1997.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum, 1994. 445 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 398 p.
- BUCKERIDGE, M. S.; PANEGASSI, V. R.; DIETRICH, S. M. C. Storage carbohydrate mobilisation in seeds of *Dimorphandra mollis* Benth. (Leguminosae) following germination. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 171-175, abr./jun. 2000.
- CAMARGO, R. **Condicionamento fisiológico de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1998. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- CARVALHO, V. D. de; CHALFOUN, S. M.; CHAGAS, S. J. de R. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1989. p. 25-26.
- CICERO, S. M. et al. Evaluation of mechanical damages in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 26, n. 3, p. 603-612, 1998.

CLEMENTE, A. C. S.; CARVALHO, M. L. M. de; GUIMARÃES, R. M. Suitability of the tetrazolium test methodology for recently harvested and stored coffee seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 415-423, jul./ago. 2012.

DIAS, M. C. L. L.; SILVA, W. R. Determinação da viabilidade de sementes de café através do teste de tetrazólio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 11, p. 1139-1145, nov. 1986.

EDJE, O. T.; BURRIS, J. S. Physiological and biochemical changes in deteriorating soybean seeds. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, Lincoln, v. 60, p. 158-166, 1970.

FRIEDMAN, J.; WALLER, G. R. Caffeine hazards and their prevention in germinating seeds of coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 9, p. 1099-1106, 1983a.

FRIEDMAN, J.; WALLER, G. R. Seeds as allelopathic agents. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 9, p. 1107-1117, 1983b.

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

GUIMARÃES, R. J. **Formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabida* L.):** efeitos de reguladores de crescimento e remoção do pergaminho na germinação de sementes e do uso de N e K em cobertura, no desenvolvimento de mudas. 1995. 133 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

GUNASEKARAN, S.; COOPER, T. M.; BERLAGE, A. G. Evaluating quality factors of corn and soybeans using a computer vision system. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 31, n. 4, p. 1264-1271, 1988.

HOFFMASTER, A. L. et al. An automated system for vigour testing three-day-old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 31, n. 3, p. 701-713, Oct. 2003.

KIGEL, J.; GALILI, G. E. (Ed.). **Seed development and germination**. New York: M. Dekker, 1995. 853 p.

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

MARCOS FILHO, J. et al. Assessment of melon seed vigour by an automated computer imaging system compared to traditional procedures. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 34, n. 2, p. 507-519, 2006.

PEREIRA, C. E. et al. Determinação de inibidores da germinação no espermoderma de sementes de café. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 24, n. 1, p. 306-311, 2002.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de café**. Lavras: 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**, Viçosa, MG, v. 1, p. 23-30, 2000. Edição especial.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, jun. 1985.

ROGERS, W. J. et al. Biochemical and molecular characterization and expression of the 11S-type storage protein from *Coffea arabica* endosperm. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v. 37, n. 4, p. 261-272, Apr. 1999.

ROSA, S. D. V. F. da et al. Effect of storage conditions on coffee seed and seedling quality. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 39, n. 1, p. 151-164, Apr. 2011.

ROSA, S. D. V. F. da et al. Exogen caffeine inhibits in vitro development of *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre embryos. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 177-184, set. 2006.

ROSA, S. D. V. F. da et al. Formação de mudas de *Coffea arabica* L., cv Rubi, utilizando sementes e frutos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 349-356, mar./abr. 2007a.

ROSA, S. D. V. F. da et al. Pré-embebição acelera germinação e crescimento de plantulas e reduz cafeína exógena em sementes de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 69-78, jan./jun. 2007b.

SHIMIZU, M. M.; MAZZAFERA, P. Mudanças na composição de proteínas e aminoácidos durante a germinação de sementes de café. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, p. 150, jun. 1999. Suplemento.

SILVA, C. A. T. da. **Potencial do uso de análise de imagens digitais na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de nabo forrageiro**. 2009. 63 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SILVA, E. A. A. da. **Coffe (*Coffea arabica* L. cv. Rubi) seed germination: mechanism and regulation**. 2002. 105 p. Thesis (Ph.D. in Crop Science) - Wageningen University, Wageningen, 2002.

SILVA, E. A. A. da et al. Abscisic acid controls embryo growth potential and endosperm cap weakening during coffee (*Coffea arabica* L. cv. Rubi) seed germination. **Planta**, New York, v. 220, p. 251-261, 2004.

SPEER, K.; KOLLING-SPEER, I. A fração lipídica da semente de café. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 201-216, Jan./Mar. 2006.

TEIXEIRA, E. F.; CICERO, S. M.; DORADO NETO, D. Noções básicas sobre imagens digitais: captura, processamento e reconhecimento voltados para a pesquisa em tecnologia de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 59-65, 2003.

VALIO, I. F. M. Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). **Journal of Experimental Botany**, London, v. 2, n. 100, p. 983-991, Sept. 1976.

VALIO, I. F. M. Inhibition of germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo) by the endocarp. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 5, n. 1, p. 32-39, 1980.

VIEIRA, M. G. G. C. et al. **Testes rápidos para determinação da viabilidade e da incidência de danos mecânicos em sementes de café**. Lavras: UFLA, 1998. 34 p. (Boletim Agropecuário, 26).

VILELA, F. L. et al. Avaliação do vigor de sementes de café por meio da análise de imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 16., 2009, Curitiba. **Anais...** Londrina: ABRATES, 2009. p. 4.

WALLER, G. R. et al. Caffeine autotoxicity in *Coffea arabica* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES. **The science of allelopathy**. New York: J. Wiley, 1986. p. 243-263.

ZAYAS, I.; CONVERSE, H.; STEELE, J. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 33, n. 5, p. 1642-1646, 1990.

CAPÍTULO 2 Estudos para a definição do tempo mínimo para avaliar o potencial germinativo das sementes de café

RESUMO

A redução do tempo do teste de germinação de sementes de café é uma alternativa altamente favorável, dando maior flexibilidade e autonomia às atividades de produção. Em pesquisas recentes, foram identificados estádios precoces do desenvolvimento da plântula de café, após a protrusão da radícula, em que todas as partes essenciais da plântula podem ser avaliadas, para atestar o potencial de germinação das sementes para gerar plantas normais. Desta forma, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de desenvolver estudos para definir o tempo mínimo no teste de germinação, para avaliar o potencial das sementes de café de produzir plantas normais. Dez lotes comerciais de sementes de café foram avaliados por meio do teste de germinação, a cada dois dias, a partir do décimo dia da sementeira, segundo os critérios da caracterização dos estádios S1 e S2. Os dados foram comparados aos do teste padrão de germinação e analisados por meio de análises de regressão não linear segmentada e modelo de resposta em platô. Pelos resultados indica-se que a avaliação de plântulas de café aos 18 dias, em estágio S1, proporciona o mesmo resultado do teste padrão, permitindo redução significativa do tempo para atestar a germinação de um lote de sementes; a avaliação de plântulas de café no estágio S2 não permite redução significativa do tempo de avaliação da germinação de sementes de café, em relação ao teste padrão.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. teste de germinação. regressão não linear segmentada. Threshold. modelo de resposta em platô.

ABSTRACT

The reduction of the germination test time is highly favorable, giving more flexibility and autonomy in production activities. In recent research, we identified the early stages of seedling development of coffee after radicle protrusion, in which all the essential parts seedling can be evaluated to demonstrate the potential of seed germination to generate normal plants. Thus, the objective of this research was to develop studies to define the minimum time on the germination test, to evaluate the potential of coffee beans to produce normal plants. Ten seed lots of coffee were evaluated through the germination test, every two days, from the tenth day of sowing, according to the criteria of the characterization of stages S1 and S2. The data were compared to the standard germination test and analyzed by means of regression analysis and non-segmented linear plateau response model. The results indicate that the evaluation of coffee seedlings 18 days, in stage S1, provides the same result of the pattern germination test, allowing a significant reduction of time in order to demonstrate the germination of the seeds lots, the seedling evaluation coffee in step S2 does not have significant reduction of time for evaluating the germination of coffee, in relation to the pattern.

Keywords: *Coffea arabica* L., germination test, segmented non-linear regression, Threshold, response plateau model.

1 INTRODUÇÃO

Um importante problema existente na produção de café é a propagação das plantas que ainda é feita por mudas originadas a partir de sementes. Um grande empecilho desse método é que as sementes de café têm germinação lenta e desuniforme, além de baixo potencial de armazenamento. Estas características dificultam a obtenção de mudas com desejável padrão de qualidade, no momento do plantio, além de dificultar a avaliação da viabilidade e do vigor das sementes, em virtude do excessivo tempo gasto para obtenção dos resultados.

A germinação da semente é a retomada do crescimento do eixo embrionário, paralisado nas fases finais da maturação e ocorre em três fases distintas (BEWLEY; BLACK, 1994; MARCOS FILHO, 2005). Diversos autores estudaram o processo de germinação de sementes de café (GIORGINI; COMOLI, 1996; MARRACCINI et al., 2001; SILVA, 2002; VÁLIO, 1976). Silva (2002), em seus estudos sobre os mecanismos e a regulação da germinação de sementes de café, investigou o envolvimento de enzimas hidrolíticas e o papel dos hormônios ABA e GA, definindo uma sequência de eventos e suas interações no embrião e endosperma das sementes.

Resultados de estudo recente caracterizam as fases da germinação de sementes e do crescimento de plântulas de café, durante o período de trinta dias, sob as condições recomendadas pelas RAS (BRASIL, 2009), para o teste de germinação (ROSA et al., 2010). Nesse trabalho, a caracterização e a definição das fases do crescimento do embrião e da plântula foram baseadas em mudanças morfológicas em vez de dias após a semeadura, como forma de melhor descrever os estádios fisiológicos correspondentes aos eventos germinativos e pós-germinativos. Estádios fisiológicos baseados em mudanças morfológicas têm sido descritos para muitas outras culturas, tais como soja (MUTHIAH; LONGER; HARRIS, 1994), milho (HANWAY, 1963), trigo (HAUN, 1973),

arroz (MOLDENHAUER; WELLS; HELMS, 1991), forrageiras (MOORE et al., 1991) e permitem a utilização de uma terminologia consistente e comum, o que garante uma comunicação inequívoca em trabalhos de pesquisa, uma caracterização mais precisa do desenvolvimento da plântula, além de permitir uma padronização das fases da germinação e do desenvolvimento. Segundo Rosa et al. (2010), todas as partes essenciais da plântula de café podem ser avaliadas num tempo inferior aos 30 dias estabelecidos pelas RAS (BRASIL, 2009) para a conclusão do teste de germinação de sementes de café. Tais dados sugerem que o teste padrão de germinação pode ser substancialmente reduzido, permitindo, portanto, a obtenção mais rápida dos resultados da avaliação da qualidade fisiológica das sementes.

A redução do tempo do teste traz inúmeras vantagens do ponto de vista tecnológico, operacional e científico, o que diminui a necessidade de pessoas, equipamentos, instalações e infraestrutura de laboratórios. No caso de sementes de café é ainda mais importante em virtude da lenta germinação que as sementes apresentam. Em decorrência do longo tempo de realização do teste, as sementes são, na prática, comercializadas sem o boletim de análise, o que, além de inferir fragilidade ao sistema de produção, impossibilita ações para a alteração do padrão de germinação, atualmente de apenas 70%. Padrões de germinação elevados garantem a utilização de sementes de maior vigor, com reflexos diretos na produção de mudas mais vigorosas e no estabelecimento do cafeeiro no campo.

Diante do exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o potencial de estádios precoces do desenvolvimento de plântulas de café, definidos em Rosa et al. (2010), para prever a capacidade das sementes em produzir plantas normais, sob as condições controladas do teste de germinação, com a finalidade de propor a redução do tempo do teste padrão de germinação destas sementes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados 10 lotes comerciais de sementes, cedidos pelo Laboratório de Análise de Sementes da UFPA, de *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí vermelho, com diferentes níveis de qualidade fisiológica. Todos os lotes foram colhidos no estádio cereja, em seguida as sementes foram despulpadas mecanicamente, desmuciladas (remoção do mesocarpo) por fermentação em água e, então, tiveram os endocarpos (pergaminhos) retirados manualmente.

2.1 Caracterização dos lotes de sementes

Para a caracterização dos lotes, as sementes de café de vários lotes foram submetidas à determinação do grau de umidade e ao teste de germinação, antes da realização do experimento.

A determinação do grau de umidade foi realizada pelo método da estufa a 105 °C, durante 24 horas, e os resultados expressos em porcentagem com base no peso úmido das sementes, de acordo com as recomendações das RAS (BRASIL, 2009).

O teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, distribuídas entre papel de germinação tipo germitest, umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco e colocado em câmara de germinação por um período de 30 dias sob temperatura de 30 °C ± 1. As avaliações de plântulas normais foram realizadas de acordo com o recomendado pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

2.2 Instalação do experimento

Com a finalidade de definir um estágio mais precoce do desenvolvimento de plântulas de café e um tempo mínimo para avaliar e atestar o potencial germinativo das sementes, durante o teste de germinação, para prever a capacidade das sementes em produzir plantas normais, sob condições controladas, dez lotes com diferentes níveis de qualidade fisiológica foram identificados, por meio do teste de germinação convencional, como descrito nas RAS (BRASIL, 2009).

Os mesmos lotes de sementes foram, também, submetidos à avaliação da germinação, sendo considerado como critério de plântula normal, as características morfológicas dos estádios de desenvolvimento S1, S2 e S3 descritos por Rosa et al. (2010). De acordo com esta descrição, na fase S1, as plântulas apresentam radículas em forma de “ponta de seta”, o que ocorre como um resultado do alargamento da região da junção entre o hipocótilo e a raiz principal (colo), causado pelo desenvolvimento dos primórdios das raízes laterais a partir do periciclo celular. O alargamento da junção entre o hipocótilo e a raiz principal contém uma série organizada de células em estágio inicial de diferenciação, as quais darão origem a raízes laterais.

Na fase S2 foram computadas as plântulas em que era possível a visualização dos primórdios das raízes laterais na junção entre o hipocótilo e a raiz primária. Finalmente na fase S3 foram consideradas as plântulas com duas ou três raízes laterais na junção entre o hipocótilo e a raiz primária e que também apresentavam outros primórdios de raízes laterais. Neste estágio pelos absorventes, formam-se, ao redor da superfície da raiz primária, que está bem desenvolvida e com uma zona de divisão e alongação celular na extremidade. Esta pode ser diferenciada pela ausência de pelos absorventes que podem ser detectados na zona de maturação das raízes.

As plântulas foram avaliadas, segundo estes critérios, a cada dois dias, durante o período de 30 dias e os resultados foram comparados estatisticamente ao resultado do teste padrão de germinação, com o objetivo de identificar um estágio mais precoce do desenvolvimento das plântulas, para atestar a germinação das sementes.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 10 x 11, sendo dez lotes e onze tempos de avaliação das plântulas. As avaliações foram realizadas a partir do décimo segundo dia após a semeadura, até 30 dias, perfazendo 11 datas de avaliação. Todas as avaliações foram realizadas considerando-se as plântulas que apresentavam as características morfológicas correspondentes às fases S1, S2 e S3, descritas por Rosa et al. (2010).

2.3 Análises estatísticas

Vários métodos estatísticos foram utilizados para a determinação do tempo mínimo de avaliação, durante o desenvolvimento das plântulas, a partir da protrusão radicular, em que foi possível prever a capacidade das sementes em produzir plantas normais em condições controladas.

Os dados foram submetidos a análises de variância e testes de comparação de médias (Scott-Knott, a 5% de probabilidade), que também indicaram os tempos de avaliação em que ocorreu a estabilização do processo de germinação. Cada variável, obtida em cada tempo de avaliação e contagem das plântulas, foram comparadas ao valor percentual de plântulas normais, obtidas ao final do teste padrão de germinação, por meio do teste de Dunnett, para o valor de significância de 5%.

Para estimar os tempos mínimos para a avaliação das plântulas, utilizou-se o modelo de regressão não-linear segmentada, de resposta em platô, o qual assume dois segmentos. O primeiro segmento descreve uma curva crescente até

uma determinada altura da ordenada, correspondente ao platô. A partir deste ponto, a ordenada assume um valor constante. O modelo permite a comparação de combinações alternativas de curvas e platôs e escolhe, como melhor opção de ajustamento, a combinação que tenha a menor soma de quadrado de resíduos. Estes modelos têm sido utilizados em diversas áreas aplicadas (PARANAÍBA; FERREIRA; MORAIS, 2009), para tamanho ótimo de parcelas (OLIVEIRA et al., 2001) para deposição de carne magra em suínos e Rosa et al. (2010), para estádios de plântulas de café.

A partir das equações com os maiores coeficientes de determinação, foram determinados os *threshold's*, ou seja, os tempos mínimos de avaliação para a estabilização do processo ou tempos para que o número máximo de plântulas seja obtido. Segundo Webster's... (1989), *threshold* é o ponto ou momento, em qualquer processo, no qual um estímulo tem suficiente intensidade para iniciar ou produzir um efeito. Intervalos de confiança foram determinados para cada tempo correspondente aos estádios morfológicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da caracterização dos lotes utilizados nesta pesquisa. Verifica-se que há diferenças em qualidade fisiológica, entre os dez lotes de sementes, o que é recomendado em estudos desta natureza.

De acordo com os resultados das análises de variância (Tabela 1A, 2A e 3A), verifica-se que houve efeito significativo de lotes e de tempos de avaliação, isoladamente e, também, da interação destes fatores sobre as avaliações nos estádios S1, S2 e S3. Na Tabela 2, encontram-se os resultados das comparações entre os resultados das avaliações a cada dois dias do teste, para cada lote utilizado. Verifica-se que os percentuais de plântulas no estágio S1 (Tabela 2) aumentam a partir do primeiro dia de avaliação, aos 10 dias da semeadura, até atingir um valor máximo, permanecendo inalterado e sem diferenças significativas entre si, até o último dia do teste. É possível verificar que, para os dez lotes de sementes utilizados, o percentual máximo de plântulas foi atingido no intervalo de 14 a 18 dias.

Tabela 1 Resultados da caracterização dos lotes de sementes de café, por meio do teste de germinação e determinação do teor de água. UFLA, Lavras – MG, 2012.

Lotes	Germinação (%)	Umidade (%)
267	94,0 A	29,43
266	93,0 A	30,85
254	92,0 A	23,27
256	90,5 A	21,44
224	86,0 B	38,17
228	90,5 A	24,45
245	88,0 B	34,68
253	86,5 B	40,86
263	89,5 B	38,76
285	94,5 A	34,30

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

Foram também realizadas comparações entre os percentuais de plântulas em cada dia de avaliação e a avaliação aos 30 dias de S3, cujo valor corresponde ao resultado do teste de germinação, prescrito pela RAS, com a finalidade de saber em qual dia de avaliação obtém-se valor estatisticamente igual ao de um teste normalmente utilizado. Na Tabela 2 pode ser verificado que já no décimo quarto e décimo sexto dia, o percentual de plântulas em estágio S1 não difere da germinação aos trinta dias, avaliada conforme prescrito pelas RAS (BRASIL, 2009).

Pode-se observar na Tabela 2, pelas comparações dos percentuais de plântulas no estágio S1, utilizando o teste de Scott-Knott, que a maioria dos lotes se estabilizou no 14º dia, após o início do teste, ou seja, a partir deste dia os resultados obtidos são iguais estatisticamente aos obtidos aos 30 dias. Alguns lotes se estabilizaram após 16 dias como no caso dos lotes 224, 266 e 267.

Pelas comparações feitas utilizando o teste de Dunnett (Tabela 2), observa-se que também aos 14 dias, após o início do teste, os lotes no estágio S1 têm estatisticamente o mesmo valor que o teste de germinação aos 30 dias. Apenas os lotes 266, 267 e 254 tiveram resultados diferentes apresentando resultados iguais aos do teste prescrito nas RAS, apenas aos 16 dias.

Observando esses resultados (Tabela 2) é possível inferir que aos 16 dias, após o início do teste, avaliando-se as plântulas no estágio S1, de acordo com caracterização proposta por Rosa et al. (2010), todos os lotes se estabilizam obtendo estatisticamente os mesmos valores que aos 30 dias e que aos 16 dias todos os lotes tem resultados estatisticamente iguais aos obtidos pelo teste padrão de germinação, prescrito nas RAS (BRASIL, 2009).

Tabela 2 Percentuais médios de plântulas no estágio S1, de diferentes lotes de sementes de *Coffea arabica* L., obtidos em dias consecutivos de avaliação. UFLA, Lavras – MG, 2012.

Estádio ⁽¹⁾	Dias de Avaliação	Lote 224	Lote 228	Lote 245	Lote 253	Lote 254	Lote 256	Lote 263	Lote 266	Lote 267	Lote 285	
S1	10	b ⁽³⁾ 32,5	D ⁽²⁾ b 18,0	C b 24,5	C b 46,6	D b 19,5	C b 23,5	C b 32,5	C b 25,0	D b 18,5	D b 47,5	C
S1	12	b 62,0	C b 63,0	B b 66,5	B b 71,5	C b 62,0	B b 66,5	B b 69,0	B b 58,5	C b 53,5	C b 76,5	B
S1	14	a 75,0	B a 87,5	A a 80,5	A a 81,5	B b 83,5	A a 85,5	A a 82,0	A b 76,0	B b 75,5	B a 89,5	A
S1	16	a 84,5	A a 89,0	A a 86,5	A a 90,0	B a 92,5	A a 88,0	A a 83,5	A a 87,0	A a 88,0	A a 89,0	A
S1	18	a 86,5	A a 89,5	A a 86,0	A a 88,0	A a 87,5	A a 88,5	A a 86,0	A a 90,5	A a 87,5	A a 90,5	A
S1	20	a 91,5	A a 90,0	A a 90,0	A a 89,0	A a 89,5	A a 86,0	A a 90,0	A a 92,5	A a 90,0	A a 92,0	A
S1	22	a 88,0	A a 93,5	A a 92,5	A a 91,0	A a 91,5	A a 90,0	A a 91,5	A a 93,5	A a 90,5	A a 94,5	A
S1	24	a 89,5	A a 95,0	A a 92,0	A a 82,5	B a 94,0	A a 99,0	A a 94,0	A a 90,5	A a 93,0	A a 91,5	A
S1	26	a 91,0	A a 93,0	A a 85,5	A a 82,5	B a 91,5	A a 84,5	A a 87,5	A a 93,0	A a 94,5	A a 95,5	A
S1	28	a 91,5	A a 95,0	A a 88,0	A a 87,5	A a 90,5	A a 90,5	A a 91,0	A a 93,5	A a 90,5	A a 92,0	A
S1	30	a 87,0	A a 91,0	A a 88,0	A a 86,5	A a 92,5	A a 90,5	A a 89,5	A a 93,0	A a 94,5	A a 95,0	A
S3	30	a 86,0	a 90,5	a 88,0	a 86,5	a 92,0	a 90,5	a 89,5	a 93,0	a 94,0	a 94,5	

(1) Estádios de desenvolvimento das plântulas de café, descritos por Rosa et al. (2010). (2) Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. (3) Tratamentos precedidos de letras minúsculas iguais da testemunha (S3), nas colunas, não diferem da mesma para o valor de significância de 5% pelo teste de Dunnett.

Tabela 3 Percentuais médios de plântulas no estágio S2, de diferentes lotes de sementes de *Coffea arabica* L., obtidos em dias consecutivos de avaliação. UFLA, Lavras – MG, 2012.

Estádio ⁽¹⁾	Dias da contagem	Lote 224	Lote 228	Lote 245	Lote 253	Lote 254	Lote 256	Lote 263	Lote 266	Lote 267	Lote 285
S2	10	b ⁽³⁾ 3,5 E ⁽²⁾	b 0,5 E	b 0,5 F	b 4,0 E	b 0,0 F	b 2,0 E	b 1,0 F	b 0,0 E	b 1,0 F	b 6,5 F
S2	12	b 12,5 E	b 7,5 E	b 14,0 E	b 24,0 D	b 11,5 E	b 8,5 E	b 16,0 E	b 4,5 E	b 5,5 F	b 19,5 E
S2	14	b 29,0 D	b 25,5 D	b 33,5 D	b 41,5 C	b 27,5 D	b 32,0 D	b 33,5 D	b 33,5 D	b 24,5 E	b 38,0 D
S2	16	b 56,5 C	b 42,5 C	b 48,5 C	b 64,5 B	b 55,5 C	b 47,5 C	b 54,0 C	b 42,5 D	b 49,0 D	b 58,5 C
S2	18	b 70,0 B	b 62,5 B	b 68,5 B	b 73,5 B	b 64,0 C	b 66,5 B	b 73,5 B	b 69,0 C	b 66,0 C	a 82,5 B
S2	20	a 82,5 A	a 83,0 A	a 83,5 A	a 82,5 A	b 76,5 B	a 82,5 A	a 82,5 A	b 79,0 B	a 80,0 B	a 82,5 B
S2	22	a 85,5 A	a 90,0 A	a 90,0 A	a 88,5 A	a 88,0 A	a 88,5 A	a 87,5 A	a 90,0 A	a 82,0 B	a 92,0 A
S2	24	a 86,0 A	a 93,0 A	a 90,5 A	a 82,0 A	a 93,5 A	a 86,0 A	a 92,5 A	a 88,0 A	a 90,5 A	a 90,0 A
S2	26	a 89,0 A	a 93,0 A	a 88,5 A	a 82,5 A	a 90,5 A	a 84,5 A	a 85,0 A	a 92,5 A	a 92,5 A	a 94,5 A
S2	28	a 90,0 A	a 94,0 A	a 88,0 A	a 86,5 A	a 90,0 A	a 90,5 A	a 90,0 A	a 93,5 A	a 88,5 A	a 91,5 A
S2	30	a 86,5 A	a 91,0 A	a 88,0 A	a 86,5 A	a 92,5 A	a 90,5 A	a 89,5 A	a 93,0 A	a 94,0 A	a 95,0 A
S3	30	a 86,0	a 90,5	a 88,0	a 86,5	a 92,0	a 90,5	a 89,5	a 93,0	a 94,0	a 94,5

(1) Estádios de desenvolvimento das plântulas de café, descritos por Rosa et al. (2010). (2) Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. (3) Tratamentos precedidos de letras minúsculas iguais da testemunha (S3), nas colunas, não diferem da mesma para o valor de significância de 5% pelo teste de Dunnett.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos testes de comparação de médias dos resultados das avaliações de plântulas no estádio S2. Nesse estádio os percentuais dos lotes se estabilizaram aos 20 dias, não havendo diferenças nos valores obtidos nos dias seguintes até os 30. Apenas nos lotes 266 e 285 a estabilização do percentual de plântulas que atingiram o valor máximo em estádio S2, ocorreu aos 22 dias após o início do teste.

Utilizando o teste de Dunnett para comparar os resultados das avaliações das plântulas no estádio S2, observa-se que, aos 20 dias, a maioria dos lotes já havia obtido os mesmos resultados que no teste de germinação (Tabela 3). Apenas nos lotes 254 e 266 obtiveram os mesmos resultados do teste de germinação aos 22 dias e o lote 285 aos 18 dias.

Da análise dos resultados pode-se inferir que, em todos os lotes, não ocorrem diferenças entre os percentuais de plântulas no estádio S1 e o percentual de plântulas normais aos 30 dias, ou seja, ocorre a estabilização no dia 16 e os valores são estatisticamente iguais aos valores do trigésimo dia. Apenas o lote 253 teve um comportamento diferente.

Já considerando as avaliações das plântulas no estádio S2, todos os lotes se estabilizaram aos 24 dias e a partir desde dia eles já não apresentavam diferenças significativas entre si. Assim, verifica-se que aos 24 dias têm-se os mesmos resultados do valor obtido por meio do teste de germinação aos 30 dias.

Por meio de regressões segmentadas não-lineares, foram realizados os ajustes dos resultados das avaliações das plântulas nos estádios S1 e S2, segundo o modelo de resposta em platô. Os parâmetros estimados das equações, os coeficientes de determinação, bem como a estimativa dos tempos mínimos (thresholds), para que as sementes dos lotes atingissem os percentuais máximos em cada estádio avaliado, são apresentados nas Tabelas 4 e 5. Verifica-se, pelos altos valores dos coeficientes de determinação, acima de 81%, que o modelo de resposta em platô permitiu ajustes adequados dos dados.

Os dias, durante a realização do teste, em que as plantas em estágio S1 e S2, estabilizaram-se foram também estimados por meio do modelo. De acordo com os valores apresentados na Tabela 4, verifica-se que estabilização ocorre entre aproximadamente 14 e 17 dias para S1, assim como foi constatado pelas comparações de médias apresentadas na Tabela 2. O lote de sementes que se estabilizou mais cedo foi o 256 e o mais tardiamente foi o 266.

Dois estágios distintos, nas equações ajustadas, foram verificados (Tabela 4). Um primeiro estágio em que a porcentagem de sementes que atingiram o estágio S1 aumenta com os dias e o segundo estágio, em que as sementes já atingiram a porcentagem máxima e não diferem entre si até os 30 dias, representados por uma reta ou platô.

Tabela 4 Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado não-linear, com resposta em platô, das regressões

Lotes	Parâmetros das curvas ajustadas				<i>Threshold</i> (estimado)	
	a	b	c	R ²	Tempo de Avaliação	S1 (%)
224	-200.8	32.689	-0.921	86,84	17.741	89.114
228	-520.1	79.843	-2.604	96,15	15.332	92.006
245	-418.6	65.644	-2.123	94,23	15.457	88.739
253	-210.2	37.644	-1.192	81,45	15.795	87.047
254	-446.3	68.347	-2.173	97,46	15.728	91.134
256	-520.6	82.108	-2.768	96,04	14.828	88.192
263	-355.5	57.429	-1.855	84,42	15.478	88.972
266	-254.1	39.016	-1.099	93,73	17.750	92.197
267	-305.7	45.487	-1.302	96,20	17.463	91.436
285	-299.6	51.913	-1.718	84,21	15.103	92.446
1º Segmento					2º Segmento (Platô)	

Observando os resultados da Tabela 5, verifica-se que os percentuais de plântulas em estágio S2, aumentam até atingir um valor máximo e se estabilizam, indicando que não seria necessário estender o teste até os trinta dias. Verifica-se, ainda, que os lotes mais tardios se estabilizaram aos 27 dias após a

semeadura. Sendo assim apenas aos 28 dias os lotes têm os mesmos resultados que no teste padrão.

Tabela 5 Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado não-linear, com resposta em platô, das regressões quadráticas (a, b, c), coeficientes de determinação (R^2) e coordenadas dos thresholds (tempos mínimos de avaliação; porcentagem de plântulas em S2 no platô) de sementes de café. UFLA, Lavras – MG, 2012.

Lotes	Parâmetros das curvas ajustadas				Threshold (estimado)	
	a	b	c	R^2	Tempos de Avaliação	S2 (%)
224	-162.8	19.771	-0.388	94,56	25.466	88.983
228	-159.8	18.385	-0.332	92,83	27.708	94.868
245	-167.8	20.198	-0.396	95,77	25.524	89.996
253	-179.7	23.216	-0.508	96,04	22.831	85.365
254	-157.8	18.639	-0.347	96,94	26.899	92.571
256	-162.2	19.301	-0.370	94,71	26.085	89.586
263	-171.8	20.958	-0.419	95,20	24.967	89.878
266	-160.8	18.656	-0.342	94,95	27.308	93.988
267	-156.9	18.161	-0.330	93,39	27.492	92.782
285	-163.9	20.629	-0.413	92,60	24.966	93.607
1º Segmento					2º Segmento (Platô)	

Nas Figuras 1 a 20, estão representados os resultados das avaliações das plântulas no estádio S1 e S2, bem como os valores obtidos nas regressões não-lineares segmentadas, dos dez lotes de sementes de café utilizados nesta pesquisa. Verifica-se que o modelo utilizado proporcionou ajustes precisos em relação aos dados da germinação pelo estágio S1 e S2, ao longo dos dias.

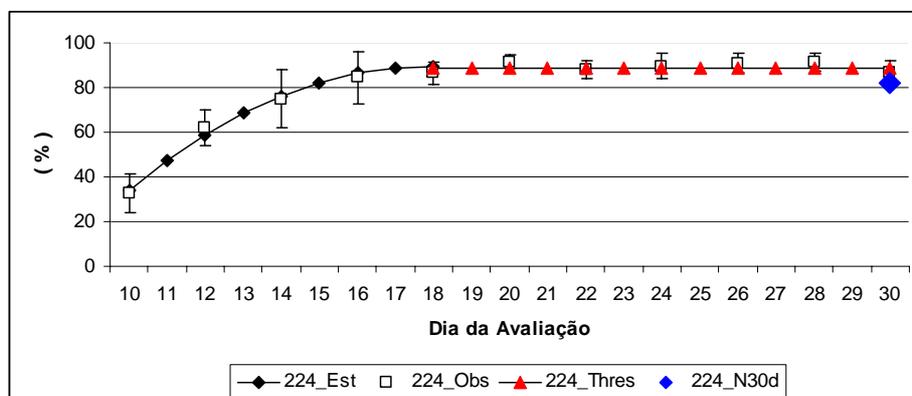


Figura 1 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S1, do lote 224. UFLA, Lavras – MG, 2012.

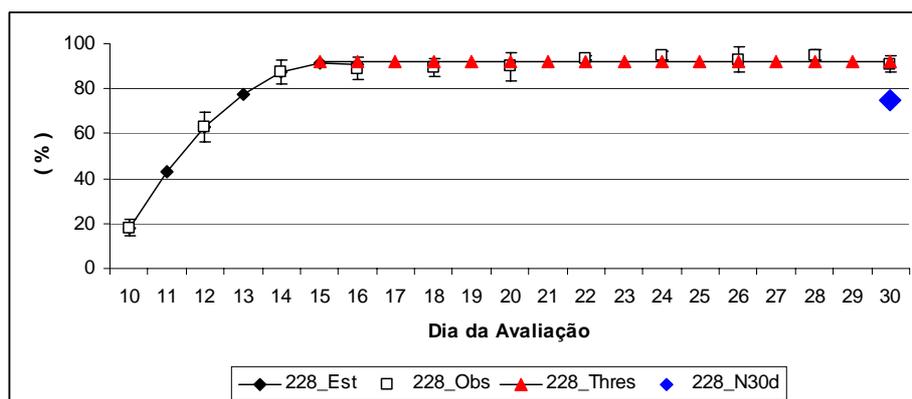


Figura 2 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S1, do lote 228. UFLA, Lavras – MG, 2012.

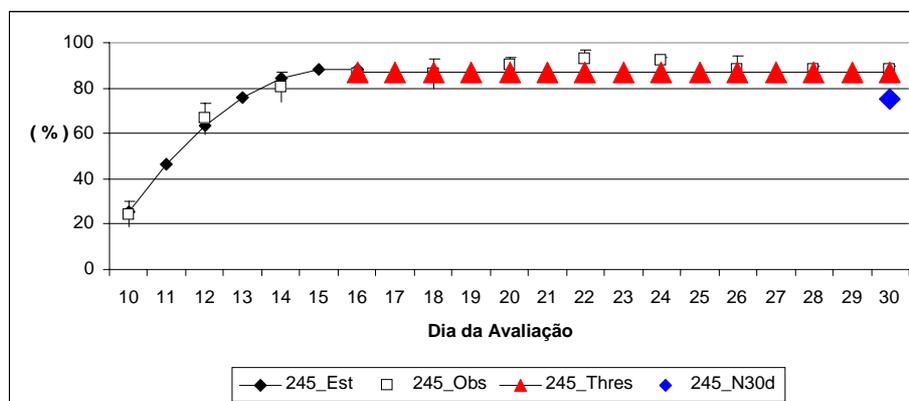


Figura 3 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas

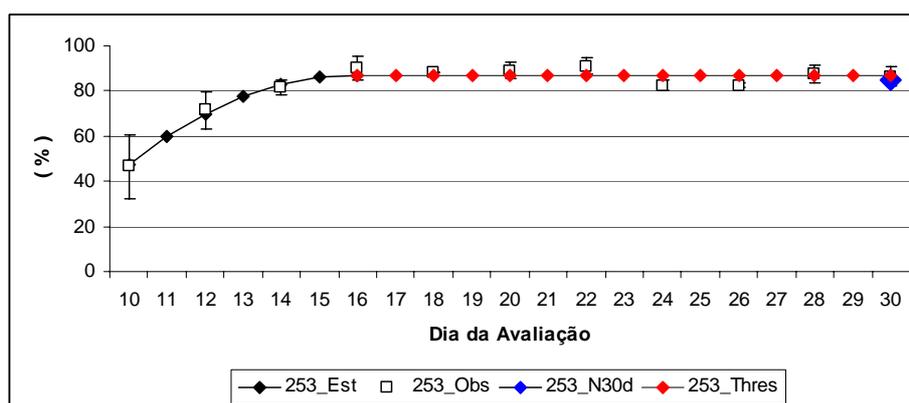


Figura 4 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas

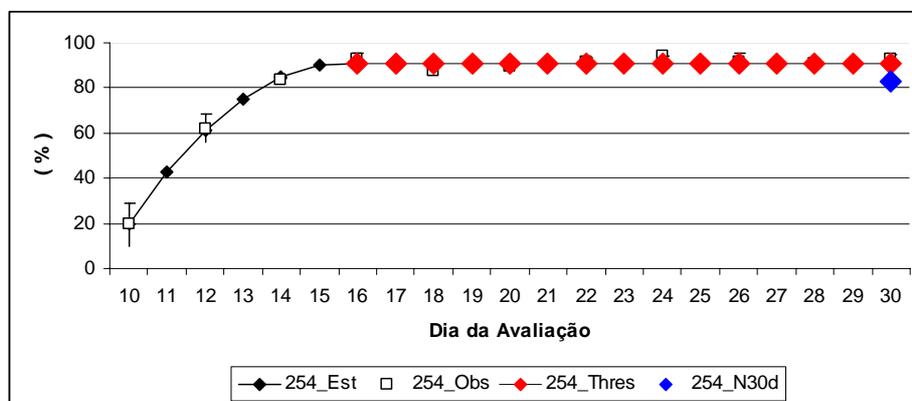


Figura 5 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S1, do lote 254. UFLA, Lavras – MG, 2012.

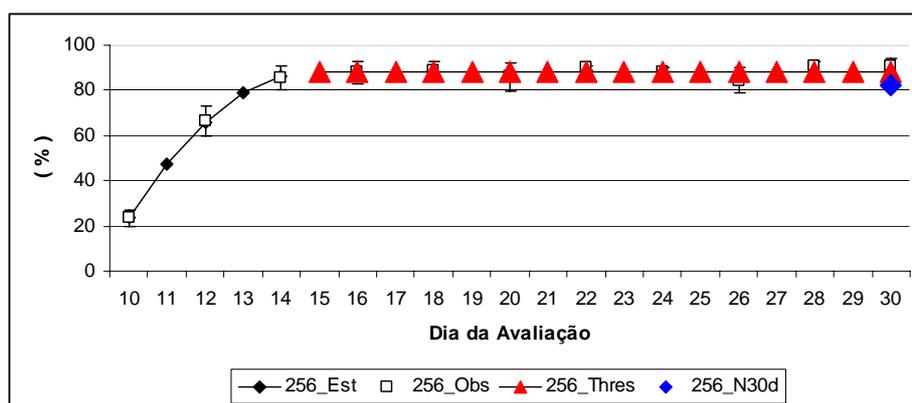


Figura 6 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S1, do lote 256. UFLA, Lavras – MG, 2012.

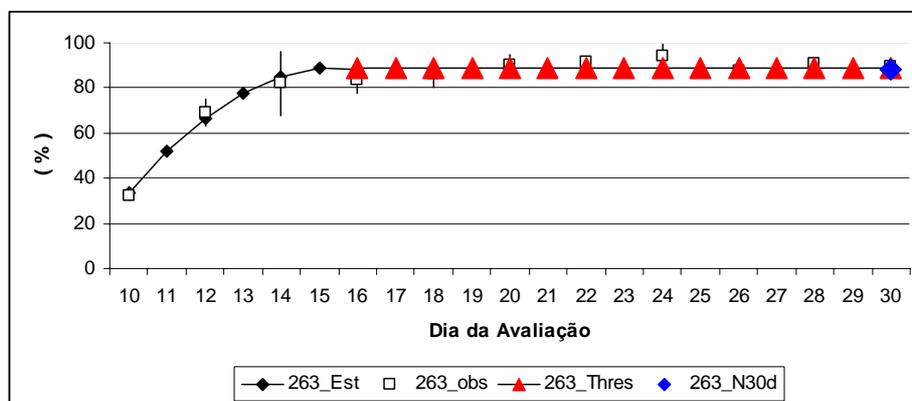


Figura 7 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas

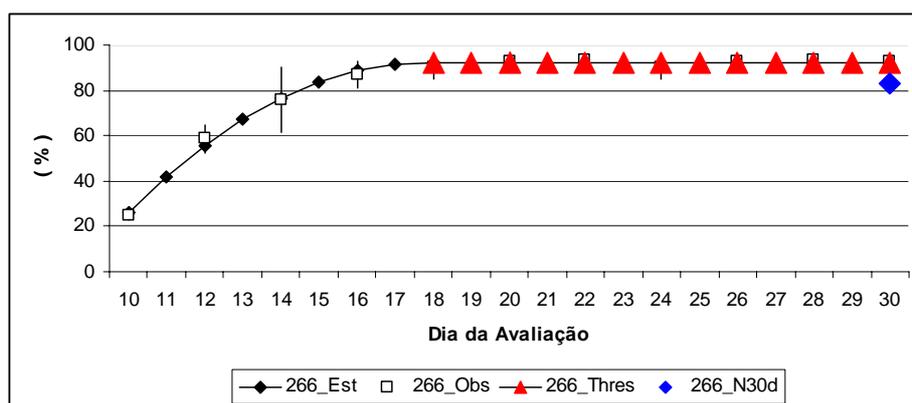


Figura 8 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas

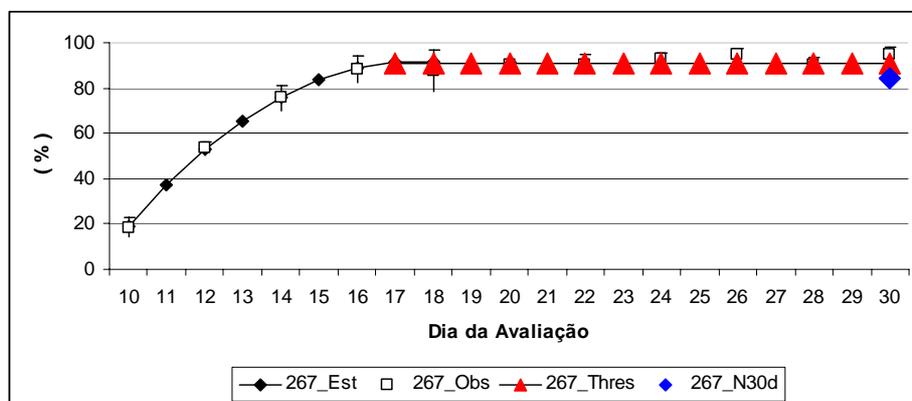


Figura 9 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em 2012, lote 267.

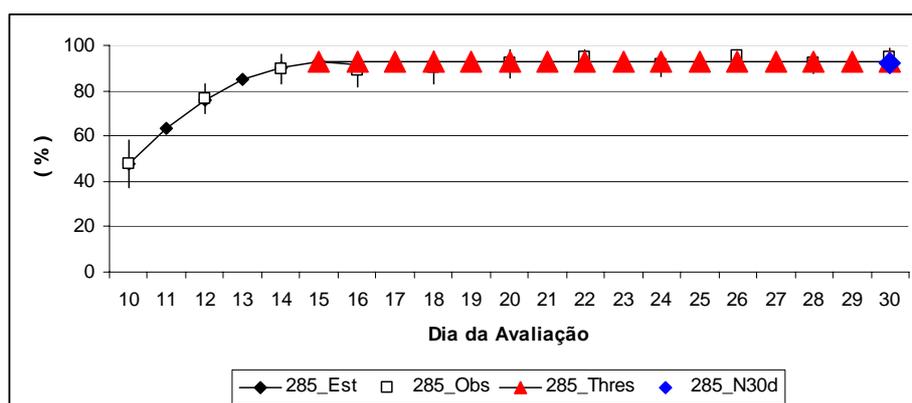


Figura 10 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em 2012, lote 285, em estádio S1, do lote 285. UFLA, Lavras – MG, 2012.

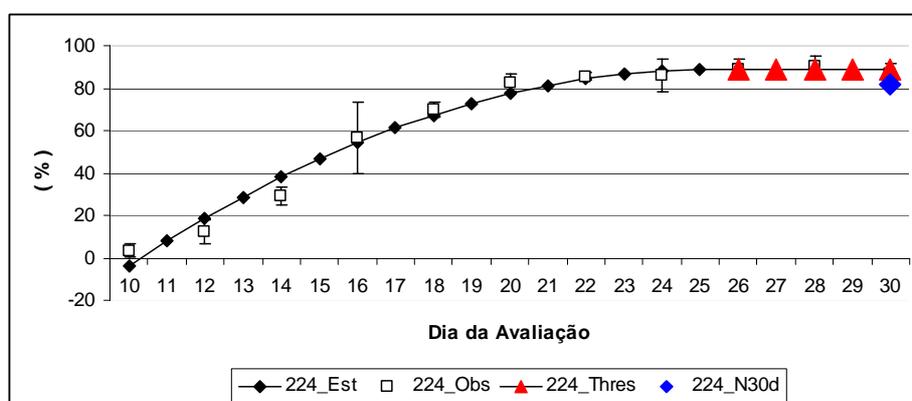


Figura 11 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estádio S2, do lote 224. UFLA, Lavras – MG, 2012.

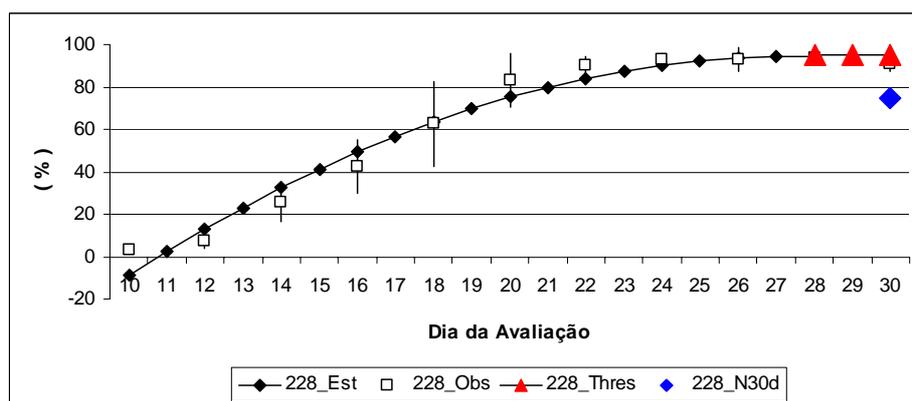


Figura 12 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estádio S2, do lote 228. UFLA, Lavras – MG, 2012.

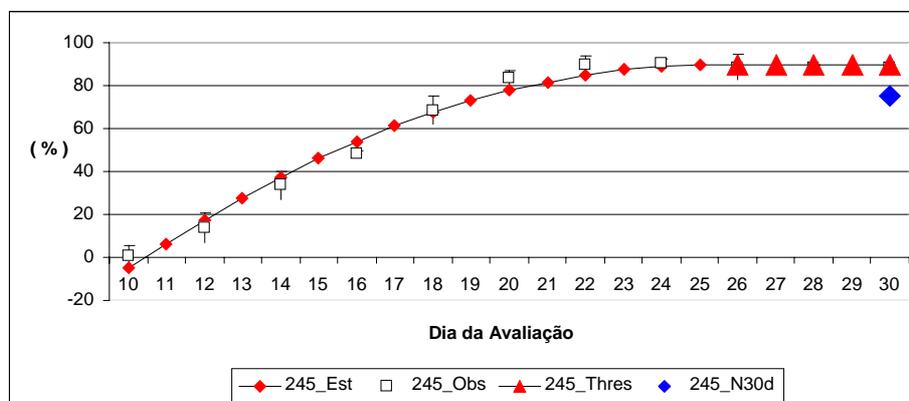


Figura 13 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 245. UFLA, Lavras – MG, 2012.

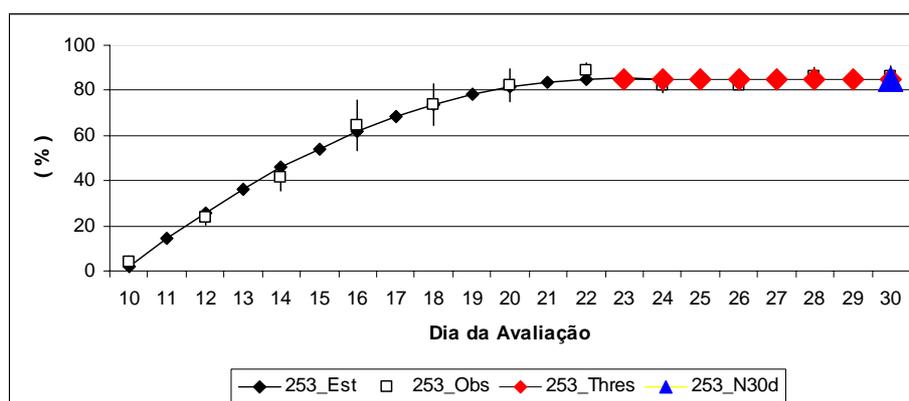


Figura 14 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 253. UFLA, Lavras – MG, 2012.

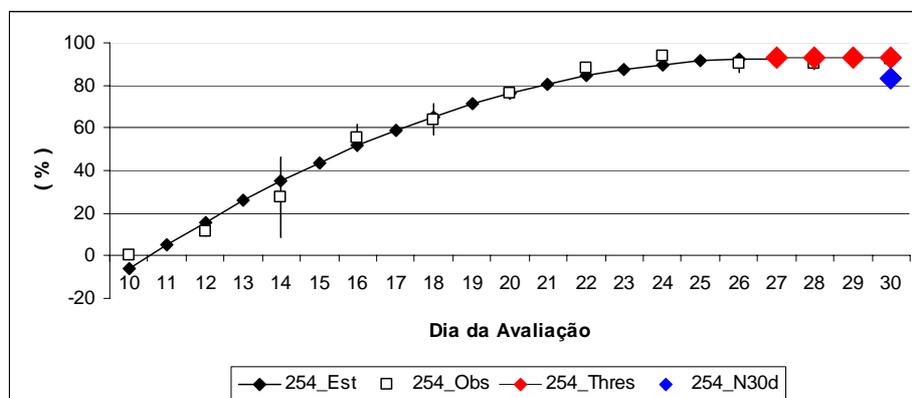


Figura 15 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 254. UFLA, Lavras – MG, 2012.

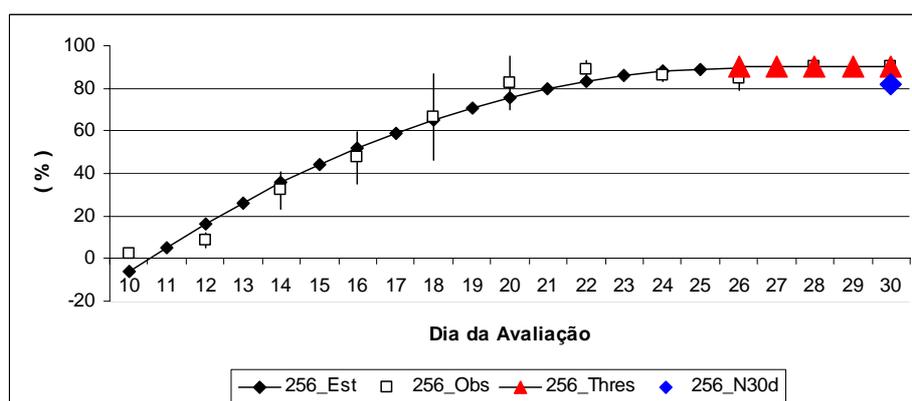


Figura 16 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 256. UFLA, Lavras – MG, 2012.

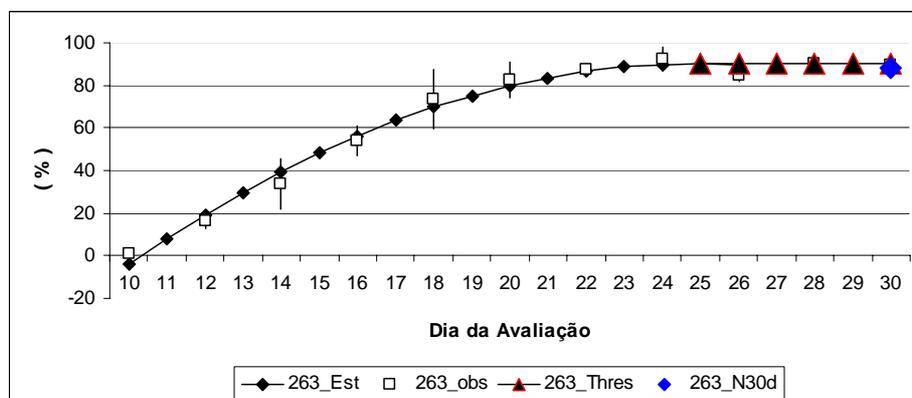


Figura 17 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 263. UFLA, Lavras – MG, 2012.

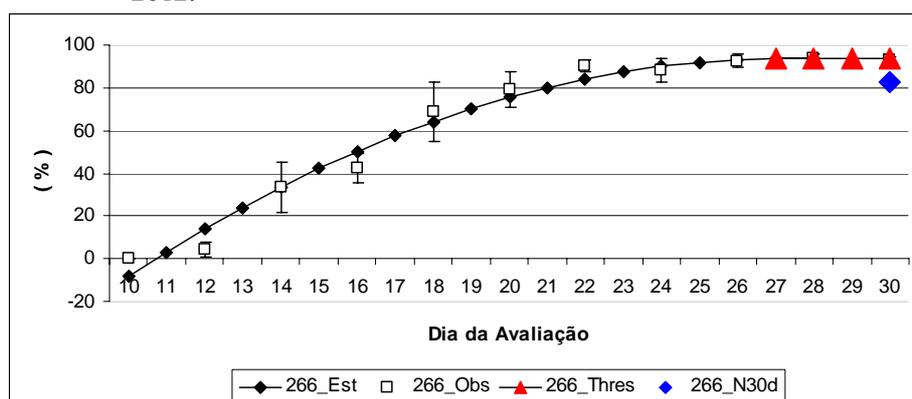


Figura 18 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 266. UFLA, Lavras – MG, 2012.

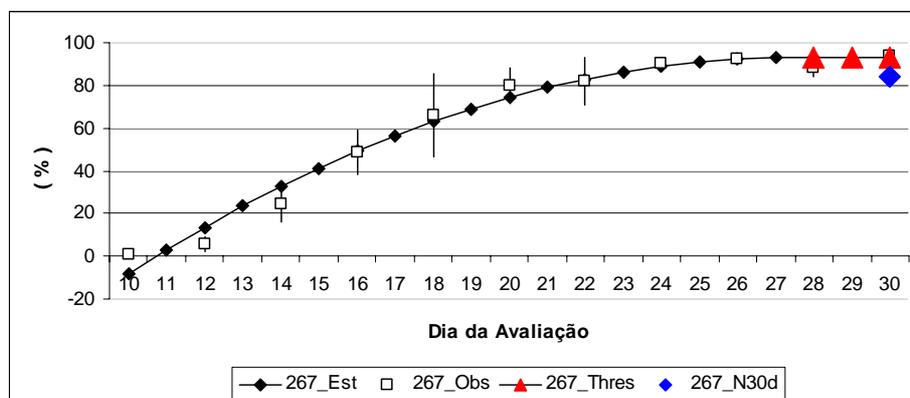


Figura 19 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 267. UFLA, Lavras – MG, 2012.

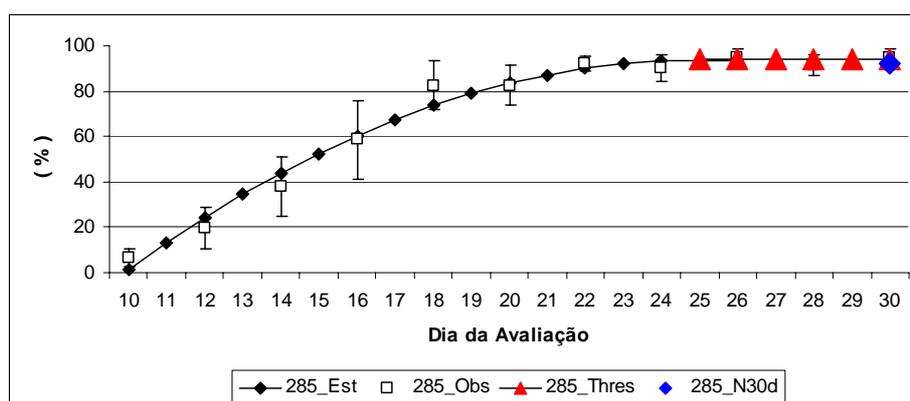


Figura 20 Valores observados e valores estimados por regressão segmentada não-linear, dos percentuais de plântulas de *Coffea arabica* L., em estágio S2, do lote 285. UFLA, Lavras – MG, 2012.

Assim, da análise de todos os resultados obtidos constata-se que o estágio S1 pode ser considerado uma alternativa para avaliar e atestar o potencial germinativo de lotes de sementes de café, com uma redução significativa no tempo do teste atualmente utilizado. Já no estágio S2 o processo somente se estabiliza, próximo aos 28 dias, muito semelhante ao teste padrão, não trazendo, portanto, vantagem prática com a sua utilização. O estágio S1 é caracterizado pela diferenciação do hipocótilo que apresenta uma cor rósea distinta da radícula de coloração branca. A radícula apresenta forma de “ponta de seta”, o que ocorre como um resultado do alargamento da região da junção entre o hipocótilo e a raiz principal (colo), causado pelo desenvolvimento dos primórdios das raízes laterais a partir do periciclo celular. O alargamento da junção entre o hipocótilo e a raiz principal contém uma série organizada de células em estágio inicial de diferenciação, conforme pode ser visualizado na Figura 21 (ROSA et al., 2010).



(ROSA et al., 2011)

Figura 21 Plântula de café no estágio S1 e aspecto da diferenciação celular para o crescimento da raiz lateral. UFLA, Lavras – MG, 2012.

4 CONCLUSÃO

A avaliação de plântulas de café aos 18 dias, em estágio S1, proporciona o mesmo resultado do teste de germinação prescrito nas RAS, permitindo redução significativa do tempo para atestar a germinação de um lote de sementes.

A avaliação de plântulas de café no estágio S2 não permite redução significativa do tempo de avaliação da germinação de sementes de café, em relação ao teste padrão.

REFERÊNCIAS

- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds**: physiology of development and germination. New York: Plenum, 1994. 445 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 398 p.
- GIORGINI, J. F.; COMOLI, E. Effect of embryo and exogenous GA3 on endospermic endo- β -mannanase activity of *Coffea arabica* L. during germination and early seedling growth. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 43-49, 1996.
- HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 487-492, 1963.
- HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, p. 116-119, 1973.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.
- MARRACCINI, P. et al. Update on coffee biochemical compounds, protein and gene expression during bean maturation and in other tissues. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 19., 2001, Trieste. **Abstracts...** Trieste: SCC, 2001. 1 CD-ROM.
- MOLDENHAUER, A. K.; WELLS, B. R.; HELMS, R. S. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 1073-1077, 1991.
- MOORE, K. J. et al. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 6, p. 1073-1077, Nov. 1991.
- MUTHIAH, S.; LONGER, D. E.; HARRIS, W. M. Staging soybean seedling growth from germination to emergence. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 289-291, Jan. 1994.
- OLIVEIRA, A. L. S. et al. Níveis de lisina para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra dos 95 aos 110kg. In:

REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 817-819.

PARANAÍBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. de. Optimum experimental plot size: proposition of estimation methods. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 255-268, 2009.

ROSA, S. D. V. F. da et al. Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 38, n. 2, p. 421-431, July 2010.

SILVA, E. A. A. da. **Coffe (*Coffea arabica* L. cv. Rubi) seed germination: mechanism and regulation**. 2002. 105 p. Thesis (Ph.D. in Crop Science) - Wageningen University, Wageningen, 2002.

VALIO, I. F. M. Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). **Journal of Experimental Botany**, London, v. 2, n. 100, p. 983-991, Sept. 1976.

WEBSTER'S encyclopedic unabridged dictionary of the English language. New York: Gramercy Books, 1989. 1693 p.

CAPÍTULO 3 Análise de imagens

RESUMO

A avaliação da viabilidade de sementes de café em laboratório pelo teste de germinação é realizada em 30 dias. Este tempo somado a outros prazos necessários ao sistema de produção de sementes, para que elas cheguem ao laboratório e, então, sejam analisadas e disponibilizadas para a comercialização, é um importante entrave na produção de mudas para o plantio na melhor época. Por isso, pesquisas têm sido desenvolvidas para tornar essa avaliação mais rápida e precisa. Neste sentido, no presente trabalho, objetivou-se avaliar metodologias para análise de imagens, utilizando o software SVIS[®] para avaliação da viabilidade das sementes de café de uma maneira rápida, prática e sem a subjetividade dos testes atualmente disponíveis. A pesquisa foi realizada no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Amostras de dez lotes de sementes da espécie *Coffea arabica* L. foram avaliadas por meio de testes de: Germinação 30 dias; Presença de Folhas Cotiledonares; Normais fortes; Massa Seca de Plântulas; Matéria Seca de Parte e análises de imagens capturadas ao 14, 16 e 18 dias e analisadas por intermédio do Software SVIS[®]. Pela comparação entre os testes, por meio de análise de variância, para verificação do potencial para discriminação dos lotes em diferentes níveis de qualidade e pelo estudo da correlação simples dos resultados observados em cada um dos testes, pode-se concluir que não é possível avaliar a viabilidade de sementes de café, por meio de captura de imagens e utilização do Software SVIS[®], quando utilizados com os parâmetros adotados nesta pesquisa.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. avaliação da qualidade fisiológica. teste de germinação. vigor. análise de imagem. SVIS[®].

ABSTRACT

The evaluation of the viability of coffee seeds in the laboratory by germination test is carried out in 30 days. This added to other time periods required in the system of seed production so that they arrive at the laboratory and then be analyzed and made available for marketing, is a major obstacle in the production of seedlings for planting at the best time. Therefore, research has been developed to make this evaluation more quickly and accurately. In this sense, the present study aimed to evaluate methods for image analysis using the software SVIS[®] to evaluate the viability of coffee seeds in a quick, practical and without the subjectivity of the tests currently available. The research was conducted in the Central Seed Laboratory of the Department of Agriculture, Federal University of Lavras. Samples of ten lots of seeds of *Coffea arabica* L. were evaluated by the tests: Germination 30 days. Presence of cotyledons leaves; strong normal seedlings, seedling dry weight, Part of Dry Matter and the analysis of images captured 14, 16 and 18 days and analyzed by means of software SVIS[®]. For comparison testing, by analysis of variance for checking the potential for breakdown of lots with different levels of quality and the study of single correlation of the results obtained in each test, one can conclude that it is not possible to evaluate seed viability of the coffee by means of capturing images and using the Software SVIS[®], when used with the parameters adopted in this study.

Keywords: *Coffea arabica* L.. evaluation of physiological quality. Germination. Vigor. image analysis. SVIS[®].

1 INTRODUÇÃO

A avaliação da qualidade de sementes por meio de análise de imagens é uma técnica utilizada para várias espécies e tem se mostrado promissora para automação da avaliação de testes de viabilidade e vigor em sementes, com potencial inclusive para reduzir o tempo necessário para emissão dos resultados. O desenvolvimento de testes mais rápidos para avaliação da viabilidade das sementes deve auxiliar na decisão dos destinos dos lotes de sementes de café e na produção de mudas em épocas do ano mais adequadas, na medida em que permite a antecipação do início do processo de formação dessas mudas, com sementes de qualidade conhecida.

O *Seed Vigor Imaging System – SVIS[®]* é um software que tem como princípio avaliar o comprimento de plântulas, baseado na uniformidade de desenvolvimento, por meio de captura da imagem de plântulas (SAKO et al., 2001). Este sistema foi desenvolvido pela Universidade Estadual de Ohio e utiliza imagens computadorizadas para determinação de padrões de vigor de sementes. É uma metodologia mais fácil e rápida que as tradicionais e seus resultados são tão satisfatórios quanto os dos outros testes de vigor na avaliação da qualidade de diferentes espécies. As vantagens destes testes incluem rápida obtenção de resultados, a precisão e o fato deles não serem métodos subjetivos já que não envolvem erros humanos de avaliação de cálculo, estimativas e medições (HOFFMASTER et al., 2003, 2005; SAKO et al., 2001).

Este método tem sido proposto como uma alternativa eficiente para testes de vigor convencional. Em culturas como soja, alface, tomate, algodão e café já existe uma metodologia para a utilização do *SVIS[®]*, e outras culturas estão sendo pesquisadas para adequar metodologias para avaliação do vigor. Alguns autores demonstraram resultados satisfatórios e com sucesso para a cultura da soja (HOFFMASTER et al., 2003; MARCOS FILHO; KIKUTI;

LIMA, 2009), melão (MARCOS FILHO et al., 2006), alface (PEÑALOZA et al., 2005), milho (OTONI; MCDONALD, 2005), milho doce (GOMES JÚNIOR, 2009), avaliando a qualidade por índices de vigor obtidos pelo sistema de análise de imagens.

Hoffmaster et al. (2005), em estudos com soja e milho, concluíram que a utilização de imagens computadorizadas permite inferir sobre graus de deterioração e vigor das sementes, por meio do tamanho das plântulas formadas após três dias da semeadura. Resultados satisfatórios também foram obtidos em sementes de soja com a utilização do SVIS® (HAMPTON; TEKRONY, 1995; HOFFMASTER et al., 2003; VIEIRA; BITTENCOURT; PANOBIANCO, 2003; ZORRILLA; KNAPP; MCGEE, 1994). O sistema captura imagens do teste de germinação, avalia o tamanho de todas as plântulas e faz estimativa sobre a uniformidade e vigor do lote.

O uso de análise de imagens computadorizadas vem ganhando um crescente espaço na busca por tecnologia em sementes. Ducournau et al. (2005), utilizou o sistema computacional acima citado para monitorar o período de germinação de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.). Este software foi desenvolvido para controlar a gravação de imagem e análise destas.

Silva (2009), trabalhando com imagens digitais na avaliação do vigor de sementes de nabo forrageiro, concluiu que o crescimento é um parâmetro mais sensível do que a uniformidade no teste SVIS® (Seed Vigor Image System), para a distinção de lotes de sementes e que a configuração de 70% para o crescimento e 30% para uniformidade foi eficiente para detecção de diferenças de vigor entre os lotes.

Atualmente tem-se aproveitado da evolução para o melhor uso de técnicas computadorizadas, tornando-as mais precisas e sensíveis para a extração e processamento de informações úteis para a indústria sementeira (TEIXEIRA; CICERO; DORADO NETO, 2003). Vilela et al. (2009) concluíram que a

utilização do teste SVIS[®] para sementes de café, mostrou-se potencialmente capaz de avaliar e diferenciar lotes de diferentes níveis de vigor.

Diante disso, objetivou-se, com este trabalho, verificar metodologias para análise de imagens, utilizando o software SVIS[®] para avaliação da viabilidade das sementes de café de uma maneira rápida, prática e sem a subjetividade do teste padrão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados 10 lotes comerciais de sementes de *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí vermelho, com diferentes níveis de qualidade fisiológica, colhidos no estágio cereja. As sementes foram despulpadas mecanicamente, desmuciladas (remoção do mesocarpo) por fermentação em água durante 24 horas a 30 °C e tiveram os endocarpos (pergaminhos) retirados manualmente. Para a caracterização dos lotes, as sementes foram submetidas à determinação do grau de umidade e ao teste de germinação, antes da realização do experimento.

A determinação do grau de umidade foi realizada pelo método da estufa a 105 °C, durante 24 horas e os resultados expressos em porcentagem com base no peso úmido das sementes, de acordo com as recomendações das RAS (BRASIL, 2009). O teste de germinação foi conduzido em quatro repetições de 50 sementes distribuídas entre papel de germinação tipo germitest, umedecido com quantidade de água equivalente a 2 ½ vezes o peso do papel seco, e colocado em câmara de germinação por um período de 30 dias sob temperatura de 30 °C ± 1.

A captura das imagens foi realizada pelo sistema de escaneamento computadorizado, com auxílio do software de processamento de imagens descrito por Hoffmaster et al. (2003).

Após a captura das múltiplas imagens de plântulas, por meio do Software SVIS[®], a parte aérea e a raiz primária dessas plântulas foram medidas e processadas para quantificar a performance potencial das sementes amostradas. Os resultados de cada repetição foram combinados para produzir o índice de vigor e uniformidade de crescimento, como descrito por Hoffmaster et al. (2003). O software utilizado foi construído especificamente para captura de plântulas de soja, entretanto, considerando a semelhança anatômica entre as plântulas de ambas as espécies, nas fases iniciais do desenvolvimento, foi possível, com pequenas correções, utilizá-lo para os testes em café.

Para evitar a influência indesejável de sementes mortas na precisão dos resultados, foi utilizado um fator de penalidade (algoritmo da uniformidade) e, foram, também, realizados pequenos ajustes, para reconhecer e marcar corretamente o ponto de ligação entre a raiz primária e a parte aérea das plântulas normais. Ambos os índices (índice de crescimento da raiz primária e uniformidade de crescimento) tiveram variação de um valor mínimo de zero a um máximo de 1000. Para padronização do limite máximo de observação, estipulou-se o tamanho máximo de quatro cm para as plântulas e as plântulas com comprimento de 0 cm geraram índice de crescimento 0, e plântulas com quatro cm geraram o índice de crescimento 1000), com combinação de 50% do valor dado pelo crescimento das plântulas e 50% dado pela uniformidade.

Os tratamentos constaram dos diferentes níveis de qualidade dos lotes e dos testes utilizados para avaliá-los. No caso de análise das imagens, processou-se a captura a cada dois dias, a partir do décimo dia após a semeadura, até 30 dias, perfazendo 11 datas de contagem. Entretanto, com base em resultado de ensaio anterior (dados não apresentados), foram escolhidas apenas as imagens capturadas nos 14, 16 e 18 dias. Foram utilizados os seguintes testes: Germinação 30 dias (N30); Presença de Folhas Cotiledonares (FlsCotil); Normais fortes (NFortes); Massa Seca de Plântulas (MSP); Matéria Seca de

Parte (MSPA). Para realização desses testes foram semeadas quatro repetições de 50 sementes, distribuídas entre papel de germinação tipo germitest, umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, e colocado em câmara de germinação por um período de 30 dias sob temperatura de $30\text{ °C} \pm 1$. Após 30 dias da semeadura, foram avaliadas as plântulas normais segundo critérios prescritos nas RAS e os resultados (N30) expressos em porcentagem de plântulas normais. Nesta mesma data foram computadas as plântulas com folhas cotiledonares aparentes (FlsCotil) e com comprimento maior que 2,5 cm (NFortes). Os resultados foram expressos em porcentagem em relação ao número de sementes semeadas. Em seguida foram separadas as partes aéreas sem endosperma e as radículas das plântulas, colocadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada a 60°C até atingirem peso constante. As massas secas tanto de parte aérea como de raízes foram divididas por 50 para que os resultados fossem expressos em gramas por semente de massa seca de plântulas (MSP) e gramas por sementes de massa seca de parte aérea (MSPA).

Para a comparação entre os lotes, em cada teste utilizado, realizou-se uma análise de variância. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os resultados foram comparados, por meio de análise de variância, com teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e os resultados dos testes foram correlacionados entre si, por meio de teste de correlação simples, utilizando-se o programa ASSISTAT.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados das análises de variância, anexos 4A (plântulas normais fortes), 5A (plântulas com folhas cotiledonares aparentes), 6A (plântulas com imagem capturada aos 14 dias), 7A (plântulas com imagem capturada aos 16 dias), 8A (plântulas com imagem capturada aos 18 dias), 9A (matéria seca de

plântulas), 10A (matéria seca de parte aérea) e 11A (plântulas normais aos 30 dias), observa-se que houve discriminação dos níveis de qualidade dos lotes apenas para os testes 5A, 6A, 9A, 10A e 11A. Pela Tabela 1 pode-se observar que os testes de análise de imagem aos 14 dias classificaram os lotes em dois diferentes níveis. Os testes com capturas realizadas aos 16 e 18 dias após o início do teste, e o teste (NFortes) não detectaram diferenças significativas entre os lotes estudados.

Não foi observada consistência nos resultados em relação à discriminação dos lotes. Assim, lotes classificados como de qualidade superior em relação aos outros por um teste, foi classificado de maneira diferente por outro teste (Tabela 1). Este fato pode ser explicado porque os atributos de vigor considerados em cada teste são na maioria das vezes diferentes. Assim um lote vigoroso em relação à produção de massa seca de raízes das plântulas pode não ter o mesmo vigor para formar especificamente folhas cotiledonares. Segundo Marcos Filho (2005), o vigor reflete a manifestação de um conjunto de características que determinam o potencial para a emergência rápida e uniforme de plântulas e por esse motivo torna-se muito difícil senão impossível o desenvolvimento de apenas um teste que indique com precisão razoável o potencial de desempenho das sementes expostas as mais variadas situações.

Considerando, ainda, que N30 não pode ser caracterizado como um teste de vigor, porque nele são estabelecidas as condições ideais para a germinação das sementes, é também improvável a discriminação idêntica em relação aos outros testes.

Na tabela 2 estão os coeficientes de correlação entre os testes, em relação à forma com que cada um deles discriminou os 10 lotes. Pode-se verificar que houve correlações significativas entre diversos testes de vigor, entretanto, o teste de N30 não se correlacionou com nenhum outro. Por essa observação pode-se inferir que as metodologias adotadas para avaliação das

plântulas, que tiveram imagens capturadas e analisadas por computador, devem ser mais efetivas para avaliação de vigor, principalmente, porque nessa metodologia os parâmetros crescimento de plântulas e uniformidade são considerados e esses normalmente são parâmetros de vigor. É provável que, para avaliar viabilidade por meio de análise de imagens, outros fatores, mais qualitativos que quantitativos, devem ser adotados. Os critérios prescritos para classificação de plântulas normais nas RAS não são limitados por tamanho e uniformidade.

Considerando as metodologias, por meio de análise de imagens como para avaliação do vigor, pode-se afirmar com base nos resultados observados nesta pesquisa que a captura aos 14 dias é a mais promissora por discriminar os lotes em dois diferentes níveis e se correlacionar com outro teste de vigor (FlsCotil).

É importante ressaltar que as metodologias que utilizam análise de imagens necessitam de pesquisas para serem ajustadas para a perfeita avaliação da qualidade das sementes, entretanto, são metodologias promissoras para tornar essas tarefas laboratoriais mais rápidas precisas e de baixo custo.

Tabela 1 Teste de médias para diferentes testes realizados, Imagem 14 dias, Imagem 16 dias, Imagem 18 dias, Normais 30 dias (N30), Normais forte (NForte), Folhas cotiledonares (FlsCotil), Matéria seca de plântulas (MSP) e de parte aérea (MSPA).

Lotes	Imagem			Imagem				
	14D	16D	18D	N30	NForte	FlsCotil	MSP(g)	MSPA(g)
224	626 B	773 A	803 A	86 B	26 A	61 B	0,050 A	0,040 A
228	631 B	705 A	808 A	91 A	35 A	71 A	0,045 A	0,037 A
245	673 A	810 A	854 A	88 B	30 A	58 B	0,042 A	0,032 A
253	715 A	858 A	881 A	87 B	37 A	50 B	0,032 B	0,027 B
254	655 B	805 A	835 A	92 A	42 A	56 B	0,045 A	0,037 A
256	653 B	783 A	831 A	91 A	34 A	71 A	0,045 A	0,037 A
263	686 A	811 A	879 A	89 B	40 A	52 B	0,040 A	0,030 B
266	623 B	752 A	821 A	93 A	41 A	29 C	0,025 B	0,020 C
267	592 B	761 A	844 A	94 A	37 A	62 B	0,042 A	0,035 A
285	709 A	800 A	904 A	95 A	44 A	38 C	0,037 A	0,027 B

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

Tabela 2 Índices de correlação entre os testes realizados nesta pesquisa.

	Img 14D	Img 16D	Img 18D	N30	FlsCotil	NForte	MSP	MSPA
Img 14D		0,6596**	0,3618*	-0,0916ns	0,4045**	0,3078ns	0,0431ns	0,1798ns
Img 16D	0,6596**		0,0687ns	0,0455ns	0,3243*	0,1465ns	0,0229ns	0,2494ns
Img 18D	0,3618*	0,0687ns		0,0849ns	0,5182**	0,2175ns	0,4394**	0,4490**
N30	-0,0916ns	0,0455ns	0,0849ns		-0,0115ns	0,2495ns	0,2655ns	0,2189ns
FlsCotil	0,4045**	0,3243*	0,5182**	-0,0115ns		0,5121**	0,2898ns	0,8017**
NForte	0,3078ns	0,1465ns	0,2175ns	0,2495ns	0,5121**		0,2884ns	0,5624**
MSP	0,0431ns	0,0229ns	0,4394**	0,2655ns	0,2898ns	0,2884ns		0,4802**
MSPA	0,1798ns	0,2494ns	0,4490**	0,2189ns	0,8017**	0,5624**	0,4802**	

Níveis de significância: ns – não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as imagens capturadas, mais testes devem ser realizados com a finalidade de aperfeiçoar os parâmetros do software para essa cultura e, assim, realizar medições mais precisas sobre os atributos das sementes.

5 CONCLUSÃO

Não é possível avaliar a viabilidade de sementes de café, por meio de captura de imagens e utilização do Software SVIS[®], quando utilizados com os parâmetros adotados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 398 p.

DUCOURNAU, S. et al. Using computer vision to monitor germination time course of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 33, n. 2, p. 329-340, July 2005.

GOMES JÚNIOR, F. G. et al. Evaluation of priming effects on sweet corn seeds by SVIS. **Seed Technology**, Lincoln, v. 31, n. 1, p. 95-100, Jan. 2009.

HAMPTON, J. G.; TEKRONY, D. M. Controlled deterioration test. **Handbook of vigour test methods**. Zürich: ISTA, 1995. p. 70-78.

HOFFMASTER, A. L. et al. An automated system for vigour testing three-day-old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 31, n. 3, p. 701-713, June 2003.

HOFFMASTER, A. L. et al. The Ohio State University seed vigor imaging system (SVIS) for soybean and corn seedlings. **Seed Technology**, Lincoln, v. 27, n. 1, p. 7-24, 2005.

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

MARCOS-FILHO, J. et al. Assessment of melon seed vigour by an automated computer imaging system compared to traditional procedures. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 34, n. 1, p. 485-497, Feb. 2006.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.

OTONI, R. R.; MCDONALD, M. B. Moisture and temperature effects on maize and soybean seedlings using the seed vigor imaging system. **Seed Technology**, Lincoln, v. 27, n. 2, p. 243-247, 2005.

PEÑALOZA, P. et al. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) seed quality evaluation using seed physical attributes, saturated salt accelerated aging and the seed vigour imaging system. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaíso, v. 8, n. 3, p. 299-307, Dec. 2005.

SAKO, Y. et al. A system for automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 29, n. 3, p. 625-636, 2001.

SILVA, C. A. T. da. **Potencial do uso de análise de imagens digitais na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de nabo forrageiro**. 2009. 63 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TEIXEIRA, E. F.; CICERO, S. M.; DORADO NETO, D. Noções básicas sobre imagens digitais: captura, processamento e reconhecimento voltados para a pesquisa em tecnologia de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 59-65, 2003.

VIEIRA, R. D.; BITTENCOURT, S. R. M.; PANOBIANCO, M. Seed vigour: an important component of seed quality in Brazil. **Seed Testing International**, Zürich, n. 126, p. 21-22, 2003.

VILELA, F. L. et al. Avaliação do vigor de sementes de café por meio da análise de imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 16., 2009, Curitiba. **Anais...** Londrina: ABRATES, 2009. p. 4.

ZORRILLA, G.; KNAPP, A. D.; MCGEE, D. C. Severity of *Phomopsis* seed decay, seed quality evaluation, and field performance of soybean. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 172-177, 1994.

ANEXOS

Tabela 1A. Resultados da Análise de Variância das avaliações no estádio S1.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
DIAS 0.0000	10	36524.304545	3652.430455	511.688
LOTE 0.0000	9	405.281818	45.031313	6.309
DIAS*LOTE 0.0000	90	1843.468182	20.482980	2.870
BLOCOS 0.0000	3	201.872727	67.290909	9.427
erro	327	2334.127273	7.138004	
Total corrigido	439	41309.054545		
CV (%) =	6.56			
Média geral:	40.7181818	Número de observações:	440	

Tabela 2A. Resultados da Análise de Variância das avaliações no estádio S2

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
DIAS 0.0000	10	112925.768182	11292.576818	916.643
LOTE 0.0002	9	418.990909	46.554545	3.779
DIAS*LOTE 0.0273	90	1511.459091	16.793990	1.363
BLOCO 0.0006	3	217.527273	72.509091	5.886
erro	327	4028.472727	12.319488	
Total corrigido	439	119102.218182		
CV (%) =	11.08			
Média geral:	31.6636364	Número de observações:	440	

Tabela 3A. Resultados da Análise de Variância das avaliações no estádio S3

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
DIAS 0.0000	10	162288.540909	16228.854091	1882.494
LOTE 0.0000	9	910.409091	101.156566	11.734
DIAS*LOTE 0.0000	90	3134.640909	34.829343	4.040
BLOCO 0.0013	3	138.454545	46.151515	5.353
erro	327	2819.045455	8.620934	
Total corrigido	439	169291.090909		
CV (%) =	11.49			
Média geral:	25.5454545	Número de observações:	440	

Tabela 4A. Resultados da Análise de Variância das plântulas normais fortes.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE 0.2573	9	1095.882452	121.764717	1.343
erro	30	2720.000025	90.666668	
Total corrigido	39	3815.882477		
CV (%) =	25.76			
Média geral:	36.9667500	Número de observações:	40	

Tabela 5A. Resultados da Análise de Variância das plantas com folhas cotiledonares aparentes.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA				
FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE	9	6439.718003	715.524223	8.809
0.0000				
erro	30	2436.666675	81.222222	
Total corrigido	39	8876.384678		
CV (%) =	16.40			
Média geral:	54.9667500	Número de observações:	40	

Tabela 6A. Resultados da Análise de Variância das plântulas com imagem capturada aos 14 dias.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA				
FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE	9	56964.400000	6329.377778	5.199
0.0003				
erro	30	36525.500000	1217.516667	
Total corrigido	39	93489.900000		
CV (%) =	5.31			
Média geral:	656.5500000	Número de observações:	40	

Tabela 7A. Resultados da Análise de Variância das plântulas com imagem capturada aos 16 dias.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA				
FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE 0.5412	9	61870.100000	6874.455556	0.895
erro	30	230361.000000	7678.700000	
Total corrigido	39	292231.100000		
CV (%) =	11.15			
Média geral:	786.1500000	Número de observações:	40	

Tabela 8A. Resultados da Análise de Variância das plântulas com imagem capturada aos 18 dias.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA				
FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE 0.1297	9	40369.256250	4485.472917	1.712
erro	30	78582.687500	2619.422917	
Total corrigido	39	118951.943750		
CV (%) =	6.05			
Média geral:	846.4125000	Número de observações:	40	

Tabela 9A. Resultados da Análise de Variância da matéria seca de plântulas.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE 0.0001	9	0.001890	0.000210	5.727
erro	30	0.001100	0.000037	
Total corrigido	39	0.002990		
CV (%) =	14.95			
Média geral:	0.0405000	Número de observações:	40	

Tabela 10A. Resultados da Análise de Variância da matéria seca de parte aérea.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
LOTE 0.0000	9	0.001400	0.000156	8.485
erro	30	0.000550	0.000018	
Total corrigido	39	0.001950		
CV (%) =	13.17			
Média geral:	0.0325000	Número de observações:	40	

Tabela 11A. Resultados da Análise de Variância para as plântulas normais aos 30 dias.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc
CAMPO1 0.0215	9	80.225000	8.913889	2.654
erro	30	100.750000	3.358333	
Total corrigido	39	180.975000		
CV (%) =	4.05			
Média geral:	45.2250000	Número de observações:	40	