



**MARIA ALICE BENTO ÁVILA**

**ANÁLISE DE IMAGEM NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL  
FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA**

**LAVRAS - MG  
2017**

**MARIA ALICE BENTO ÁVILA**

**ANÁLISE DE IMAGEM NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE  
SEMENTES DE SOJA**

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  
Profa. Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho

**LAVRAS – MG  
2017**

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

Ávila, Maria Alice Bento.

Análise de imagem na avaliação do potencial fisiológico de  
sementes de soja / Maria Alice Bento Ávila. - 2017.

42 p. : il.

Orientador(a): Maria Laene Moreira de Carvalho.

Coorientador(a): Renato Mendes Guimarães, Sttela Dellyzete  
Veiga Franco da Roza, Leidiane Aparecida Ferreira Queiroz.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. vigor. 2. avaliação computadorizada. 3. GroundEye®. I.  
Carvalho, Maria Laene Moreira de. II. Guimarães, Renato Mendes.  
III. Roza, Sttela Dellyzete Veiga Franco da. IV. Queiroz, Leidiane  
Aparecida Ferreira. V. Título.

**MARIA ALICE BENTO ÁVILA**

**ANÁLISE DE IMAGEM NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE  
SEMENTES DE SOJA**

***IMAGE ANALYSIS IN THE EVALUATION OF THE PHYSIOLOGICAL POTENTIAL OF  
SOYBEAN SEEDS***

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

APROVADA em 17 de fevereiro de 2017.

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa  
Dr. Renato Mendes Guimarães  
Dra. Leidiane Aparecida Ferreira Queiroz

EMBRAPA  
UFLA  
MAPA

Profa. Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2017**

*A minha mãe, Maria Aparecida Bento, pelo amor, empenho  
e valores que empregou em minha educação.  
A João Batista Ávila (sempre presente) pela alegria, amor e proteção.  
A minha família pelo apoio e incentivo.  
A Vovó Dinha pelo carinho e espiritualidade,  
Vovó Rita pelos mimos (culinários pela sua maioria) e zelo,  
Ao querido Vovô Bené pela doçura.  
As pessoas queridas que passaram por minha vida,  
que Deus abençoe a nossa amizade.  
Em especial ao Alf pelo amor e companheirismo.*

*DEDICO*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Agricultura pela oportunidade de realização do mestrado e pelo investimento que faz em seus discentes.

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

À Associação dos Produtores de Sementes de Mato Grosso (APROSMAT) e ao Laboratório da Análise de Sementes da Cocari – Cooperativa Agropecuária e Industrial, pela disponibilidade em fornecer as sementes utilizadas nesta pesquisa.

À Profa. Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho, pela compreensão, conhecimentos e orientação para realização deste trabalho. Sua expertise foi primordial para o sucesso deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Renato Mendes Guimarães, Drs. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa, Dra. Leidiane Aparecida Ferreira Queiroz pela solicitude e contribuições para este trabalho.

Aos demais professores, pesquisadores e funcionários do Laboratório Central de Sementes (LCSEM/UFLA), Prof. Dra. Édila Vilella Resende Von Pinho, Prof. Dr. João Almir Oliveira, Pesquisador Dr. Antonio Rodrigues Vieira, D. Dalva, Geraldo, Jaqueline, Viviana, pelos ensinamentos e colaboração.

Aos meus “irmãos desorientados”, especialmente ao Octávio Souza Gomes Roza pela convivência e ajuda na condução deste trabalho. Sem você seria mais difícil!

Ao Núcleo de Estudos em Sementes (NESem) tutorado pelo Prof. Renato pelo desenvolvimento nos campos profissionais, acadêmicos e pessoais. Aos seus membros e ex-membros pela amizade, exemplo e empenho. Vocês são a minha referência e tenho fé que todos seremos ótimos profissionais!

Aos amigos de Sementes e Lavras pela fraternidade em momentos compartilhados.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e conquista deste sonho.

As amadas famílias Bento e Ávila, pelo incentivo, carinho e alegrias.

À Wesley Richard Soler por sua presença em minha vida. Sou eternamente grata.

Aos meus pais, Maria Aparecida e João Pendaia pelo AMOR.

## **MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

A avaliação computadorizada de plântulas representa um avanço na otimização do tempo utilizado para obtenção de dados referentes ao vigor e na redução da subjetividade das análises. Objetivou-se verificar o potencial de utilização da técnica de análise de imagens pelo equipamento GroundEye® L 800 na separação de lotes de sementes de soja com diferentes níveis de qualidade fisiológica e relacionar os resultados da avaliação computadorizada com os testes de vigor indicados para a cultura. Para a caracterização dos lotes foram aplicadas as avaliações de teor de água, primeira contagem de germinação, germinação, emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência, envelhecimento acelerado e tetrazólio. A análise de imagens foi realizada com plântulas com quatro dias de idade pelo equipamento e em seguida analisadas pelo *software*. No primeiro experimento foram estudadas onze cultivares, no segundo estudo seis cultivares com quatro lotes diferentes cada, no terceiro experimento duas cultivares diferentes com doze lotes distintos. Com a utilização da técnica de análise de imagens na avaliação de plântulas com quatro dias de germinação empregando o equipamento GroundEye® L 800 é possível distinguir lotes de soja de diferentes níveis de vigor. Existe correspondência entre os resultados dos testes tradicionais usados para avaliação de vigor de sementes de soja e os resultados obtidos na avaliação do índice de vigor na análise de imagens.

Palavras-chave: vigor; GroundEye®; avaliação computadorizada; *Glicine max*

## ABSTRACT

A computerized evaluation of seedlings represents an advance in the optimization of the time used to obtain data regarding the vigor and the reduction of the subjectivity of the analyzes. The objective of this study was to verify the potential of using the element analysis technique by the GroundEye® L 800 equipment in the separation of lots of soybean seeds with different levels of physiological quality and to relate the results of the computerized evaluation with the vigor tests indicated for the culture . For a characterization of the applied lots as water content scores, first count of germination, germination, emergence of seedlings, rate of emergence, accelerated aging and tetrazolium. The image analysis was performed with four - day - old seedlings by the equipment and then analyzed by the software. In the first experiment were studied in cultivars, in the second study six cultivars with four different lots each, in the third experiment two different cultivars with twelve different lots. Using the technique of image analysis in the evaluation of seedlings with four days of germination using the GroundEye® L 800 equipment, it is possible to separate soybean lots of different levels of vigor. There is a relation between the results of the tradicional tests for the evaluation of seed quality and the results obtained in the vigor index obtained in the image analysis.

Key words: vigor; GroundEye®; Computerized evaluation; *Glicine max*;



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 — Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação, Germinação, Envelhecimento acelerado, Emergência de plântulas, Índice de velocidade de emergência transformado, Tetrazólio, e médias do Índice de vigor manual e Índice de vigor do GroundEye®.....25
- Figura 2 — Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação, Germinação, Envelhecimento acelerado, Emergência de plântulas, Índice de velocidade de emergência transformado, Tetrazólio, e médias do Índice de vigor manual e Índice de vigor do GroundEye®..... 29
- Figura 3 — Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação, Germinação, Envelhecimento acelerado, Emergência de plântulas, Índice de velocidade de emergência transformado, Tetrazólio, e médias do Índice de vigor manual e Índice de vigor do GroundEye®, para os lotes das cultivares SYN 1059 RR e CD 2737 RR.....32

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resultados da caracterização dos lotes com os valores médios de teor de água (TA), primeira contagem de germinação (1ª C), testes de germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio (TZ), de sementes de soja.....24
- Tabela 2 – Análise de imagem das plântulas de soja pelo GroundEye®: Índice Manual de Vigor (IVM), Índice de Vigor GroundEye® (IVG), média do comprimento do hipocótilo (H), média do comprimento da radícula (R), relação entre hipocótilo e radícula (H/R).....26
- Tabela 3 – Resultados da caracterização dos lotes com os valores médios de teor de água (TA), primeira contagem de germinação (1ª C), testes de germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio (TZ), de sementes de soja.....27
- Tabela 4 – Análise de imagem das plântulas de soja pelo GroundEye®: Índice Manual de Vigor (IVM), Índice de Vigor do GroundEye® (IV), média do comprimento do hipocótilo (H), média do comprimento da radícula (R), relação entre hipocótilo e radícula (H/R) .....30
- Tabela 5 – Resultados da caracterização dos lotes com valores médios obtidos para teor de água (TA), primeira contagem de germinação (1ª C), testes de germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio (TZ), de sementes de soja das cultivares SYN 1059 RR e CD 2737 RR .....31
- Tabela 6 – Análise de imagem das plântulas de soja pelo GroundEye®: Índice Manual de Vigor (IVM), Índice de Vigor (IV), média do comprimento do hipocótilo (H), média do comprimento da radícula (R), relação entre hipocótilo e radícula (H/R) para os lotes das cultivares SYN 1059 RR e CD 2737 RR .....34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Qualidade de sementes de soja .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Métodos convencionais para avaliar vigor de sementes de soja.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Métodos computadorizados para avaliação de vigor de sementes de soja .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Experimentos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Distinção de desempenho entre cultivares.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Efeito de lotes dentro de cultivares .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Distinção de lotes de diferentes cultivares e níveis de qualidade.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Perfil dos lotes .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Metodologia de análise de imagem.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Experimento 1 .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Experimento 2 .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>Experimento 3 .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais oleaginosas cultivadas, sendo umas das maiores commodities do agronegócio brasileiro. O uso de sementes de soja de alta qualidade é um dos fatores determinantes para o sucesso de sua produção, por gerar plântulas de alto vigor mais tolerantes às adversidades edafoclimáticas.

Sementes de elevada qualidade fisiológica permitem o acesso dos agricultores aos avanços do melhoramento genético, com garantias de desempenho e tecnologias envolvidas em sua produção. A obtenção de informações precisas a respeito do potencial de desempenho de lotes de sementes em condições variadas de ambiente somente foi possível com o surgimento dos testes de vigor.

O emprego de testes de avaliação do vigor no controle de qualidade na produção de sementes de soja é medida fundamental para o seu êxito. A avaliação do potencial fisiológico é desafiadora para os tecnologistas atuais devido à crescente demanda por semente de soja de alto valor agregado, o que tem requerido da indústria um controle de qualidade muito mais preciso e rígido.

Dentre os testes convencionais de vigor, os mais aplicados em conjunto para a cultura da soja são: emergência de plântulas, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e o teste de tetrazólio. Este último, por permitir a caracterização da viabilidade, do vigor, e da deterioração causada por umidade, danos mecânicos, por percevejos e por secagem é amplamente utilizado na tomada de decisão por parte das empresas sementeiras de soja, determinando o destino de sua produção. Contudo, possui a desvantagem de necessitar de mão de obra especializada e de seus resultados serem subjetivos, e com variações entre laboratórios de análise de sementes.

Dentre os testes de vigor comumente utilizados, alguns baseiam-se em determinações da velocidade e da uniformidade de crescimento de plântulas ou em avaliações manuais de suas partes, apresentando limitações como o consumo excessivo de tempo para a obtenção dos resultados. A automatização de análises pelo uso de processamento computadorizado de imagens pode eliminar esta dificuldade.

A avaliação computadorizada de plântulas representa um avanço na otimização do tempo utilizado para obtenção de dados referentes ao vigor e na redução da tendenciosidade das análises, uma vez que é pouco influenciado pelo analista, resultando em tomadas de decisões mais ágeis e precisas. Entretanto, o uso dessa ferramenta para avaliação do vigor de

sementes por meio da análise de plântulas de soja ainda é incipiente havendo necessidade de ajustes e de padronização do teste.

Algumas tecnologias já foram criadas e adotadas com sucesso para a avaliação do vigor de plântulas como o *Seed Vigor Imaging System – SVIS* (SAKO et al., 2001), *software* desenvolvido pela Universidade Estadual de Ohio. Além desse o *Germinator* é um pacote de uso simples e eficiente em termos de custo e flexibilidade para pontuação e avaliação da germinação. Bem como o *Lemna Launcher*, criado para o processamento digital de imagens, e que permite de forma fácil e rápida medições de estruturas vegetais, fornecendo dados correlacionados as propriedades genéticas de germinação e desempenho de crescimento de sementes.

No mercado brasileiro o GroundEye®, produzido pela empresa Tbit Tecnologia e Sistemas tem sido indicado pelo seu potencial de utilização na verificação da qualidade física e fisiológica das sementes. Esta avaliação é feita por meio de análise de imagens de alta resolução que possibilitam extrair informações consistentes de cor, textura e geometria de sementes, além de fornecer índices de crescimento, uniformidade e vigor de plântulas.

A proposta nesta pesquisa foi verificar o potencial de utilização da técnica de análise de imagens pelo equipamento GroundEye® na separação de lotes de sementes de soja com diferentes níveis de qualidade fisiológica, bem como relacionar os resultados da avaliação computadorizada com os testes de vigor indicados para a cultura.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Qualidade de sementes de soja**

A soja é a commodity de maior importância no cenário agrícola nacional, entre as leguminosas cultivadas (BORNHOFEN et al., 2015). Altas produções são viabilizadas pelo desenvolvimento de novas cultivares e com a utilização de sementes altamente vigorosas (FREITAS; ALBRECHT, 2015).

A qualidade fisiológica das sementes é caracterizada pelo seu potencial germinativo e vigor (SILVA et al., 2016). Empresas produtoras de sementes utilizam os resultados de testes fisiológicos, na comparação de lotes, para estabelecer políticas de armazenamento, comercialização e controle de qualidade tanto interno quanto externo de sementes de soja (MARTINS et al., 2016). Como exemplo os resultados do teste de germinação são utilizados para determinar a taxa de semeadura e servir como parâmetro de comercialização de sementes (FINA et al., 2016).

Entre outros fatores, lotes de sementes com melhor qualidade fisiológica proporcionam uniformidade na distribuição das plantas no campo (CANTARELLI et al., 2015). Aliado a isso, plântulas com tamanho inicial e taxas de crescimento maiores, possuem elevada capacidade competitiva, o que acarreta o fechamento mais rápido dos espaços entre as linhas favorecendo o controle das plantas daninhas (HENNING et al., 2010).

Semente de qualidade é uma componente chave de uma produção agrícola bem-sucedida e seu uso é necessário para assegurar populações adequadas de plantas em uma variedade de condições de campo (KHAN et al., 2011). A produção de sementes de soja de alta qualidade depende do emprego de técnicas de avaliação do vigor constituindo providência fundamental para o seu sucesso (MOREANO et al., 2013)

### **2.2 Métodos convencionais para avaliar vigor de sementes de soja**

Testes de vigor fornecem informações sobre a capacidade de sementes produzirem plântulas normais em condições de crescimento semelhantes aos que podem ocorrer no campo (PEREIRA, W.; PEREIRA, S.; SANTOS DIAS, 2015). Uma plântula pode ser classificada como normal em um teste de germinação que proporciona um ambiente ótimo de temperatura, umidade e luz, contudo, pode não ser capaz de continuar o crescimento e completar o seu ciclo de vida sob uma ampla gama de condições de campo (SILVA et al., 2013). Geralmente, as sementes começam a perder vigor antes de perderem a sua capacidade

de germinar, portanto o teste de vigor é uma prática importante nos programas de produção de sementes (DHUNGANA et al., 2016).

As condições de desenvolvimento, maturação, armazenamento e envelhecimento das sementes influenciam o vigor das sementes (SMANIOTTO et al., 2014). A forma geral de determinar o vigor é medir algum aspecto da deterioração, que é inversamente proporcional ao seu potencial fisiológico (MARTINS et al., 2016). Abaixo estão descrições breves para alguns dos testes mais comuns de vigor utilizados em análises de sementes de soja.

Associado ao teste de germinação é possível determinar o vigor por meio da velocidade de germinação e porcentagem de sementes germinadas na primeira contagem (MENDES et al., 2009), obedecendo às prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). O teste de primeira contagem de germinação é utilizado na avaliação da qualidade fisiológica das sementes, porém, nem sempre os resultados obtidos reproduzem o potencial do lote em condições de campo por ser conduzido em ambiente controlado em laboratório (LOPES; SILVA; VIEIRA, 2013).

Os lotes que germinam rapidamente, ou seja, que apresentam maior porcentagem de plântulas normais nessa contagem, são considerados mais vigorosos (MARCOS FILHO; CICERO; SILVA, 1987). São aferidos o número de plântulas normais, germinadas no primeiro dia de avaliação das plântulas, tal como especificado no teste de germinação para cada espécie (VANITHA; KATHIRANVAN, 2015), no caso da soja no quinto dia após a montagem do teste (BRASIL, 2009). O número médio de plântulas oferece uma noção do nível de vigor das sementes do lote (SANTORUM et al., 2013). Quanto maior o número médio de plântulas na primeira contagem de germinação, maior é o potencial fisiológico do lote de sementes, pois geralmente indica uma maior correspondência com o número de mudas no campo (MARCOS FILHO, 2015).

O teste de velocidade de germinação oferece a estimativa da capacidade das sementes para germinarem rapidamente e é um importante indicador da qualidade fisiológica como um índice mais sensível de desempenho de sementes do que a porcentagem de germinação (BANDEIRA et al., 2014). O valor obtido é dependente do tempo médio e da velocidade de germinação das sementes, sendo assim, quanto menor o tempo de germinação, maior o valor do índice (RIGON et al., 2014). O método estatístico mais comumente adotado é o de Maguire (1962), e quanto maior o seu índice, maior será a velocidade de germinação das sementes (BASTIANI et al., 2006).

A avaliação de emergência de plântulas parte do princípio que sementes que propiciam maior percentual de emergência, em condições de campo, são mais vigorosas

(DINIZ et al., 2013). Se conduzido na época normal de semeadura da cultura, fornecerá subsídios necessários ao cálculo da quantidade de sementes a ser utilizada para obtenção de uma população de plantas desejável (NAKAGAWA 1994).

O teste que emprega a velocidade de emergência de plântulas é análogo ao teste de velocidade de germinação de plântulas, por possuírem princípio e objetivos muito semelhantes (VANZOLINI et al., 2007). O vigor do lote de sementes é determinado avaliando a velocidade de emergência de plântulas em condições de campo; mais vigoroso será o lote de sementes quanto mais rápida for a emergência das plântulas no campo (OLIVEIRA et al., 2009).

Desta forma é possível comparar o vigor das sementes de lotes semeados na mesma época, porém não permite comparações com testes realizados em épocas diferentes (NAKAGAWA, 1994). A emergência uniforme das plântulas é também um componente importante do vigor das sementes, bem como maiores valores de comprimento da parte aérea e massa verde ou seca, num mesmo período de tempo (GUEDES et al., 2009).

Portanto, a avaliação do comprimento de plântulas ou do peso seco de plântulas constitui importante parâmetro de vigor. Isto ocorre em função das sementes conterem maior suprimento de reservas nos tecidos de armazenamento, desse modo, maior massa e maior competência de transformação destas reservas em substâncias que podem ser assimiladas pelo eixo embrionário (TAIZ; GEIZER, 2006).

Os testes que avaliam o crescimento de plântulas são testes sugeridos por uma associação mundial que congrega tecnologistas de sementes AOSA – *Association of Official Seed Analysts* (1983). As vantagens destes testes são: baixo custo; não necessitam de equipamentos especiais; não demandam treinamento adicional específico sobre a técnica empregada e são relativamente rápidos (SANTOS *et al.*, 2011).

A AOSA propôs para o teste de comprimento de plântula, o número de plântulas normais mensuradas (cm por plântula normal). Deve-se na interpretação do vigor do lote, não considerar apenas os resultados do comprimento da plântula (média), mas também os valores da germinação, pois alguns lotes podem apresentar germinação menor produzindo plântulas com maior tamanho médio e vice-versa (ALVES et al, 2015).

O crescimento de plântulas pode ser mensurado por meio do comprimento e da massa de matéria seca de plântula (SANTOS *et al.*, 2011). Ambos são medidas de grandeza física (dimensão e massa) que independem de subjetividade do analista, tornando mais fácil a reprodutibilidade dos resultados (VIRGOLINO et al., 2016).



O teste de condutividade elétrica tem sido recomendado para avaliar o vigor das sementes baseado na organização da membrana celular (PERUZZO; PIOLO; SALINAS, 2015). Antes da colheita, uma desorganização estrutural temporária ocorre nas membranas das células durante o período de secagem de sementes (BARBIERI et al., 2013). Devido a isso, no processo de germinação durante o a fase de embebição, as sementes precisam reorganizar o sistema de membrana celular e reparar danos que possam ter ocorrido durante a secagem (MATTIONI et al., 2015).

No processo de embebição, as sementes exudam açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, enzimas e íons em quantidades diferentes, que podem variar de acordo com o estado organizacional do sistema de membrana celular (BARBOSA et al., 2013). Por consequência, sementes de baixa qualidade fisiológica tem uma reduzida capacidade de reorganização da membrana celular, ocasionando taxas mais elevadas de solutos que lixiviam na solução de embebição utilizada para realização do teste de condutividade elétrica (DELARMELINO-FERRARESI; VILLELA; AUMONDE, 2014).

O teste de tetrazólio é importante na rápida avaliação da viabilidade de sementes (LAMARCA; BARBEDO, 2014). Fundamenta-se no princípio de que tecidos vivos da semente, na presença de uma solução de cloreto de 2, 3, 5 – trifenil tetrazólio alteram sua coloração (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; COSTA et al., 1998), devido a atividade de sistemas enzimáticos relacionados às funções vitais (CUI et al., 2016). A coloração dos tecidos vivos ocorre de forma diferenciada em função do nível de deterioração e vigor presentes nas sementes. Por exemplo, em sementes de soja quando o tecido é viável e vigoroso apresentará coloração rosa claro, quanto mais intenso a coloração, maior será o nível de deterioração (MARCOS FILHO, 2015).

A observação de diferenças de cor, juntamente com o conhecimento de diversas características das sementes, permite a determinação da presença, da localização e da natureza do dano (COSTA et al., 2003). Por meio deste teste, é possível identificar: danos por embebição, por ataque de percevejo, dano de umidade, por abrasão e ou choque mecânico, dos distúrbios que podem ocorrer nos tecidos embrionários inviabilizando as sementes (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; COSTA et al., 1998).

O teste de frio é um dos mais antigos e populares de vigor em sementes, sendo desenvolvido para avaliar o potencial fisiológico de sementes, por simular as condições adversas do solo (umidade excessiva, baixas temperaturas e presença de fungos) que ocorrem frequentemente durante o período de semeadura nos Estados Unidos da América (VIEIRA et al., 2010).

É uma metodologia importante e usual para a avaliação de vigor na cultura do milho, porém para sementes de soja informações sobre esse método é escasso na literatura (HARTER; BARROS, 2011).

Para os pesquisadores, o desafio tem sido buscar técnicas que visam aumentar a longevidade das sementes bem como métodos de análise laboratoriais exigidos para avaliar a evolução da deterioração no armazenamento (YAGUSHI; COSTA; FRANÇA NETO et al., 2014). O envelhecimento acelerado avalia o grau de tolerância das sementes após exposição das sementes a altas temperaturas e umidade relativa (ZUCHI et al., 2013), condições que aceleram a deterioração simulando a perda da qualidade fisiológica que ocorre durante o armazenamento das sementes (FINA et al., 2016). Espera-se que sementes de alto vigor tolerem altas temperaturas e umidade e mantenham sua capacidade de produzir plântulas normais no teste de germinação (MARCOS FILHO, 2015).

### **2.3 Métodos computadorizados para avaliação de vigor de sementes de soja**

O uso da análise de imagens automatizada de sementes e plântulas está associada a necessidade de métodos rápidos e precisos (DELL'AQUILA, 2009). A avaliação de estruturas como hipocótilos e radículas de plântulas bem como a análise de conteúdo de reservas de sementes, são métodos confiáveis para a avaliação do potencial fisiológico (HENNING et al., 2010). Pois existe uma correlação positiva entre o crescimento de plântulas e os vários testes que permitem estimar o vigor de sementes de soja (MAHAJAN; DAS; SARDANA., 2015).

Entre os métodos computadorizados destacam-se:

O SVIS, *Seed Vigor Imaging System*, desenvolvido na Universidade Estadual de Ohio nos Estados Unidos da América, um sistema computacional de análise de imagens de plântulas, foi utilizado pela primeira vez com a cultura da alface (SAKO et al., 2001). Por meio do processamento das imagens digitalizadas, o SVIS calcula índices que se baseiam no crescimento e uniformidade inicial das plântulas (MCDONALD et al., 2008). As imagens são capturadas com o auxílio de um escâner tendo como operador um software específico (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2012). A utilização de escâner pode ser uma ferramenta eficiente no monitoramento da germinação das sementes (OAKLEY; KESTER; GENEVE, 2004). Após a captura das imagens estas são analisadas pelo software, fornecendo os índices de vigor, uniformidade e crescimento, cujos valores podem variar de 1 a 1000 (SILVA; CÍCERO, 2014).

Na utilização do SVIS, os pesos dos parâmetros de crescimento e uniformidade, empregados na fórmula do cálculo de vigor, podem ser alterados manualmente pelo analista, os demais pesos são valores fixos (ROCHA; SILVA; CICERO, 2008).

De forma eficiente o sistema computacional SVIS foi empregado na avaliação do vigor de lotes de sementes de soja em vários estudos (OAKLEY; KESTER; GENEVE, 2004, YAGUSHI et al., 2014, SILVA et al., 2012, CHIQUITO; GOMES JUNIOR; MARCOS FILHO, 2012). Os pesos dos parâmetros de crescimento e uniformidade para o cálculo do índice de vigor foram de 70% e 30% em todos os trabalhos (PINTO et al., 2015). Os resultados obtidos pelo SVIS podem se relacionar com os testes de vigor tradicionais para sementes como o envelhecimento acelerado, tetrazólio e condutividade elétrica (ALVARENGA; MARCOS FILHO; GOMES JUNIOR, 2012).

O GroundEye®, versão L 800, é um sistema composto por uma câmara de captação da imagem e um *software* de análise. O equipamento é constituído de uma esteira de coloração azul, na qual é disposto o objeto de análise. Para captura de imagem é utilizada uma câmara fotográfica de alta resolução. O equipamento possibilita capturar as imagens, sendo que a análise da imagem é feita em tempo real.

É necessário que o usuário do equipamento defina um padrão para a segmentação da imagem anteriormente à análise. Na análise de imagens este procedimento é importante para o campo de processamento de imagens, para se conseguir limiarizar os objetos analisados do plano de fundo da imagem (GONZALES; WOODS, 2010). Este processo no GroundEye® é realizado por diferença de cor, sendo que o software possui três opções de modelos de cor, o HSV, YCbCr e Cielab (PINTO et al., 2015).

- HSV – *Hue Saturation Value*, Sistema de cores formado por Matiz (*Hue*) que define a cor dominante (como vermelho, verde, roxo e amarelo) de uma área, Saturação (*Saturation*) mede a quantidade de tom de cinza que a imagem apresenta; Valor (*Value*) está relacionada com a luminância, intensidade de brilho da cor (RODRIGUEZ-PULIDO et al., 2012).
- YCrCb é um modelo comumente usado por estúdios de televisão europeus e para trabalhos de compressão de imagem (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).
- CIE Lab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) é um modelo que ordena e descreve todas as cores de acordo com sistema triangular: a coordenada de luminosidade ( $L^*$ ) e são

definidas duas coordenadas de cor  $a^*$  para vermelho/verde e  $b^*$  para amarelo/azul (HOFFMANN, 2017).

Com o GroundEye® analisam-se as imagens de sementes e de plântulas extraindo informações de cor, textura e geometria de cada indivíduo da imagem (ABREU et al., 2016). O software analisa individualmente cada plântula, mas também tem a funcionalidade de fornecer informações sobre vigor, uniformidade e crescimento de cada amostra por meio dos índices, cujos valores variam de 1 a 100 (PINTO *et al.*, 2015).

As fórmulas utilizadas pelo equipamento de análise de imagem são similares as utilizadas no sistema SVIS (SAKO *et al.*, 2001), com o diferencial de que o sistema não oferece a possibilidade de se alterar os parâmetros previamente. Os ajustes são feitos por meio de Redes Neurais Artificiais, que vem tendo destaque de seu uso na literatura com o uso de sistemas inteligentes (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). A grande vantagem do uso desta tecnologia refere-se à modelagem de problemas complexos, que é determinada pelo mecanismo de aprendizado baseado somente em estímulos de informação inserida no sistema, ou seja, uma vez concluído o treinamento, a rede armazena, em sua estrutura, o modelo do problema abordado, a princípio, não importando quanto complexo ele é (HAYKIN, 2008).

O cálculo de vigor pelo GroundEye® é feito por meio de inferências, utilizando as Redes Neurais Artificiais como simuladores de regressão não linear multivariada, desta forma necessita-se que o usuário insira amostras que já foram classificadas pelo sistema e os respectivos valores de vigor calculados nos testes tradicionais de laboratório para tais amostras. Desse modo o sistema consegue inferir o valor de vigor para as amostras que serão analisadas posteriormente.

A avaliação automatizada do crescimento de plântulas, com a utilização do GroundEye®, reduz a subjetividade das análises baseadas na observação visual do analista, e pode constituir um avanço significativo rumo à padronização da metodologia de avaliação de vigor por meio da análise de imagens.

### **3 Material e métodos**

A pesquisa foi realizada no Laboratório Central de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras - UFLA e na empresa Tbit Tecnologias e Sistemas, em Lavras - MG, no período de fevereiro 2015 a dezembro de 2016. Foi dividida em três experimentos: 1º Experimento - Distinção de desempenho entre cultivares; 2º Experimento – Efeito de lotes dentro de cultivares; e 3º Experimento - Distinção de lotes de diferentes cultivares e níveis de qualidade.

#### **3.1 Experimentos**

##### **3.1.1 Distinção de desempenho entre cultivares**

Foram utilizadas onze cultivares distintas de sementes de soja fornecidos pela APROSMAT - Associação dos Produtores de Sementes de Mato Grosso: ANTA 82, ANTA 82 RR, TMG 1179 RR, M7739, M7739 RR, TMG 1176 RR, TMG 4182, TMG 1174 RR, TMG 132 RR, TMG 123 RR, TMG 1175 produzidas no estado do Mato Grosso por diferentes produtores de sementes.

Foram comparadas duas metodologias de avaliação: O índice de vigor obtido pela análise de imagem via GroundEye® e outro índice calculado com base na média dos testes de primeira contagem de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência – IVE, conforme descrito em perfil dos lotes.

##### **3.1.2 Efeito de lotes dentro de cultivares**

Foram utilizadas seis cultivares de sementes de soja fornecidos pela APROSMAT - Associação dos Produtores de Sementes de Mato Grosso: ANTA 82, M7739 RR, TMG 4182, TMG 1174 RR, TMG 123 RR, TMG 1175. De cada cultivar foram analisados quatro lotes de diferentes procedências e níveis de qualidade para uma avaliação inicial.

Foram comparadas duas metodologias de avaliação: O índice de vigor obtido pela análise de imagem via GroundEye® e outro índice calculado com base na média dos testes de primeira contagem de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência – IVE, conforme descrito em perfil dos lotes.

### 3.1.3 Distinção de lotes de diferentes cultivares e níveis de qualidade

Foram utilizadas duas cultivares de sementes de soja fornecidos pela COCARI - Cooperativa Agropecuária e Industrial: SYN 1059 RR e CD 2737 RR. De cada cultivar foram analisados 12 lotes.

Foram comparadas duas metodologias de avaliação: O índice de vigor obtido pela análise de imagem via GroundEye® e outro índice calculado com base na média dos testes de primeira contagem de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência – IVE, conforme descrito em perfil dos lotes.

## 3.2 Perfil dos lotes

Para todos os experimentos, na fase inicial, foi feita a caracterização dos lotes de acordo com as seguintes metodologias:

Determinou-se o grau de umidade pelo método de estufa a 105°C por 24 horas (BRASIL, 2009) utilizando-se 2 repetições de 5g de sementes por tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O teste de geminação foi realizado com 4 repetições de 50 sementes por lote. Utilizando-se como substrato o papel toalha na forma de rolo, umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso seco do papel. Os rolos foram mantidos em germinadores a temperatura de 25°C, e realizando-se as avaliações ao quinto dia (teste de primeira contagem de germinação) e ao oitavo dia após a semeadura (BRASIL, 2009).

O teste de envelhecimento acelerado foi conduzido em caixa plástica, pelo método de gerbox adaptado (AOSA, 2009). Com a pré-embebição a umidade relativa do ar no interior dessas caixas foi obtida pela adição de 40 mL de água; posteriormente as sementes de cada tratamento foram distribuídas sobre a tela inox interna da caixa em camada única, de maneira a cobri-la de forma completa e uniforme. As caixas foram tampadas e mantidas em BOD regulada a 41° C durante 48 horas e posteriormente realizado o teste de germinação (BRASIL, 2009). Foi realizada uma única leitura ao quinto dia após a semeadura computando a porcentagem de plântulas normais.

O teste de emergência de plântulas foi conduzido sob condições controladas na temperatura de 25° C em câmara de crescimento, com 4 repetições de 50 sementes por

tratamento. As sementes foram semeadas em substrato composto de mistura de terra e areia na proporção 2:1, umedecido com 60% da sua capacidade de retenção de água. As leituras foram realizadas diariamente por 15 dias consecutivos para o cálculo do Índice de Velocidade de Emergência (IVE), computando o número de plântulas emergidas no dia (MAGUIRE, 1962). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas. Houve transformação dos dados da análise do IVE para adequação dos resultados de porcentagem pela fórmula:

$$\text{IVE Transformado} = \frac{X \cdot 100}{15}$$

Sendo:

X = valor encontrado para IVE

A divisão por 15 ocorre por ser o maior valor possível para IVE.

No teste de tetrazólio foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes. No pré-condicionamento as sementes foram embaladas em papel de germinação umedecido e mantidas nestas condições por um período de 16 horas, na temperatura de 25° C, conforme metodologia tradicional (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; COSTA, 1998). Em seguida as sementes foram colocadas em copos plásticos, sendo totalmente submersas na solução de tetrazólio (0,075%) sem a presença de luz, permaneceram assim por 150 a 180 minutos, a uma temperatura de 35°C a 40°C. Posteriormente, lavadas e avaliadas.

### 3.3 Metodologia de análise de imagem

Após a caracterização dos lotes pelos testes tradicionais foram efetuadas as avaliações no equipamento GroundEye® L800, constituído de um aparelho de captação de informações composto por esteira transportadora e análise em tempo real por vídeo, aliado ao *software*.

Foram avaliadas 200 plântulas oriundas do teste de germinação aos quatro dias após a semeadura, conforme resultados obtidos em pré-testes, onde foi observada a idade máxima para captação das imagens das plântulas pelo equipamento, e mínima para o tamanho da plântula.

As plântulas de soja foram removidas do papel de germinação, com zelo para que suas estruturas fossem preservadas. Posteriormente com a atenção de que não ficassem sobrepostas, dispostas na esteira do equipamento para a coleta de imagens. O tipo de

parâmetro de reconhecimento pelo equipamento foi de “plântulas de soja” com quatro dias, fundo de preenchimento não selecionado e o tamanho mínimo de descarte de objeto de  $0,3 \text{ cm}^2$ . Subsequentemente, a calibração de cor de fundo usando o modelo de cor CIEL\*a\*b foi realizada com um brilho de 0 a 100, a dimensão "a" de -20,9 à 39,1 e a dimensão "b" de -52,9 a -21,30.

A análise das imagens foi feita automaticamente e o cálculo do vigor é realizado automaticamente pelo sistema por meio de inferência dos dados de vigor previamente obtidos utilizando testes convencionais, de acordo com os seguintes parâmetros: Média da razão entre a raiz primária e a parte aérea; Média do tamanho total (parte aérea + raiz primária); Quantidade de sementes mortas/descartes/não germinadas; Média do tamanho da parte aérea; Média do tamanho da raiz primária; Desvio padrão do tamanho da parte aérea; Desvio padrão da raiz primária; Desvio padrão da razão entre a raiz primária e a parte aérea ;Desvio padrão do tamanho total (raiz primária + parte aérea); Tamanho médio do esqueleto (todas as ramificações encontradas) e Quantidade média de ramificações (raízes secundárias).

No caso desta pesquisa o valor de referência utilizado para a inferência foi uma média aritmética dos testes de primeira germinação, envelhecimento acelerado, tetrazólio e índice de velocidade de emergência, todos os valores em porcentagem, por levar em consideração diversos parâmetros de testes de vigor.

### **3.4 Análise Estatística**

O procedimento estatístico adotado foi o delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Para a análise dos dados foi utilizado o teste de comparação de médias, por meio do teste de Scott Knott a 5% de significância, usando o software Sisvar® (FERREIRA, 2003).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento 1

Os teores de água das sementes dos onze lotes foram semelhantes estatisticamente conforme observa-se na Tabela 1, o que é um ponto importante, uma vez que a uniformização do teor de água das sementes dos diferentes lotes é fundamental para a padronização das avaliações e obtenção de resultados coerentes (DODE et al., 2013).

Tabela 1 – Resultados da caracterização dos lotes com os valores médios de teor de água (TA), primeira contagem de germinação (1ª C), testes de germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio (TZ), de sementes de soja. Lavras, MG, 2016.

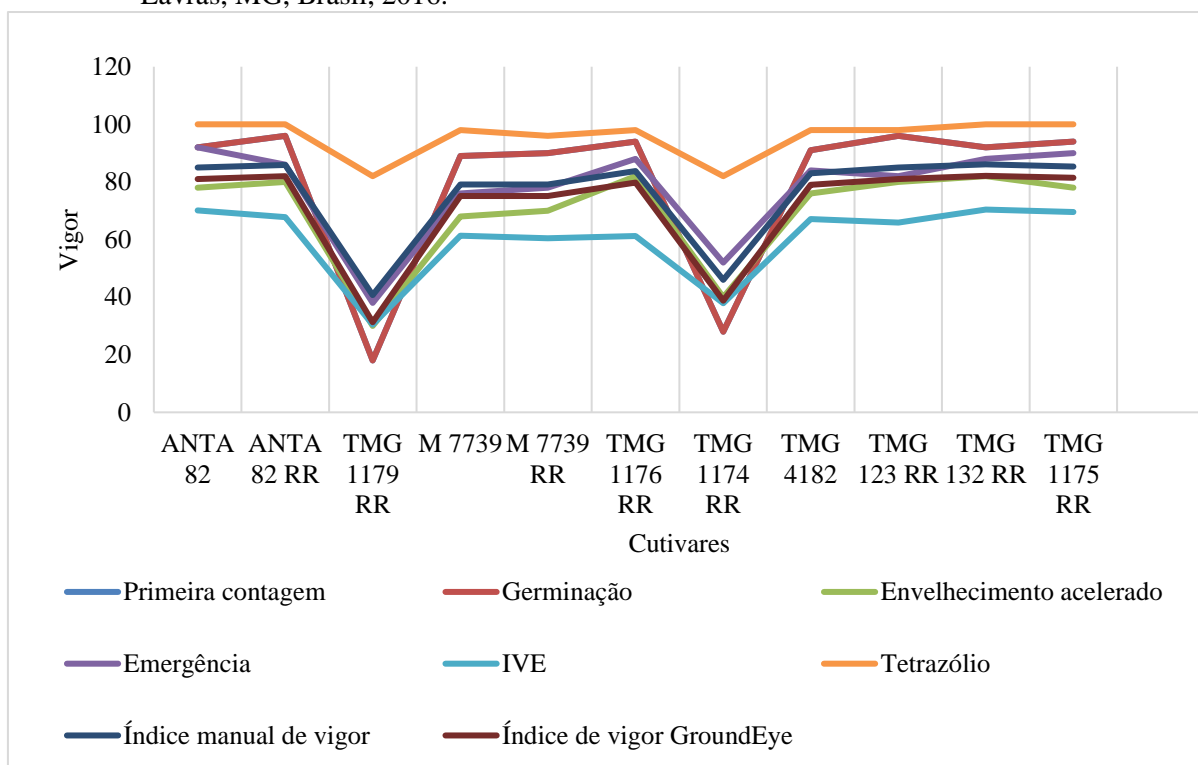
Cultivar	TA%	1ªC (%)	G (%)	EA (%)	E (%)	IVE	TZ
ANTA 82	10,7 a	92 b	92 b	78 a	92 a	10,52 a	100 a
ANTA 82 RR	11,1 a	96 a	96 a	80 a	86 a	10,16 a	100 a
TMG 1179 RR	9,8 a	18 d	18 d	30 d	38 d	4,57 d	82 b
M 7739	10,5 a	89 c	89 c	68 b	76 c	9,20 b	98 a
M 7739 RR	10,7 a	90 c	90 c	70 b	78 c	9,06 b	96 a
TMG 1176 RR	10,8 a	94 a	94 a	82 a	88 a	9,19 b	98 a
TMG 1174 RR	10,7 a	28 c	28 c	40 c	52 c	5,68 c	82 b
TMG 4182	9,9 a	91 b	91 b	76 b	84 b	10,06 a	98 a
TMG 123 RR	10,8 a	96 a	96 a	80 a	82 b	9,88 a	98 a
TMG 132 RR	10,9 a	92 b	92 b	82 a	88 a	10,56 a	100 a
TMG 1175 RR	11,3 a	94 a	94 a	78 a	90 a	10,43 a	100 a
CV (%)	0,03	2,62	2,62	7,93	8,31	6,56	1,92

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes de soja foi determinada por meio dos testes de germinação e vigor. Os testes de primeira contagem de germinação, germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas e índice de velocidade de emergência diferenciaram as cultivares em cinco níveis de qualidade. Sendo as cultivares, ANTA 82 RR, TMA 123 RR e TMG 1175 RR com vigor superior as demais estudadas e iguais entre si pelo teste de Skott-Knott em todas as avaliações aplicadas.

O teste de tetrazólio é estabelecido como um importante parâmetro na tomada de decisões das empresas produtoras de sementes (OLIVEIRA et al., 2014). Contudo, nesta situação estudada verificase que o teste de tetrazólio não foi eficiente para a distinção das cultivares por níveis de qualidade fisiológica, oferecendo apenas dois níveis de qualidade (TABELA 1).

Figura 1 – Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação, Germinação, Envelhecimento acelerado, Emergência de plântulas, Índice de velocidade de emergência transformado, Tetrazólio, e médias do Índice de vigor manual e Índice de vigor do GroundEye®. Lavras, MG, Brasil, 2016.



Segundo Tunes et al. (2011) a qualidade das sementes pode ser caracterizada pela germinação e pelo vigor, o qual pode ser definido como a somatória de atributos que conferem, à semente, o potencial de germinar, emergir e prover rapidamente plântulas normais sob ampla diversidade de condições ambientais. Na Figura 1, observamos um gráfico com todas as médias dos testes de vigor aplicados.

Podemos afirmar que o Índice de Vigor manual, é um valor intermediário a todos os testes de vigor, sendo mais apropriado para ser utilizado como valor de inferência no equipamento GroundEye®. O Índice de vigor oferecido pelo equipamento também corrobora com os testes da caracterização das cultivares. O teste de tetrazólio não confirma a diferenciação de vigor dos demais testes, sendo estes mais sensíveis nesta função.

Analisando a Tabela 2, verifica-se que o Índice manual de vigor e o Índice de vigor fornecido pelo GroundEye® estão de acordo em sua maioria, dividindo as cultivares em cinco níveis de qualidade fisiológicas, afirmando sua eficiência na avaliação do vigor no caso deste experimento. A cultivar Anta 82 RR, TMG 132 RR e TMG 1175 RR foram superiores as demais em ambos os testes de vigor. A cultivar TMG 1179 RR foi inferior a todas as outras em todos os testes de vigor e na caracterização dos lotes.

Estudos afirmam que a emergência das plântulas depende do desenvolvimento do hipocótilo, responsável pela elevação dos cotilédones acima da superfície (CARVALHO et al., 2015). Assim, o

comprimento e diâmetro do hipocótilo estão relacionados com a capacidade de emergência das plântulas para superar qualquer resistência do solo (PEREIRA, W.; PEREIRA, S.; SANTOS DIAS, 2015).

Foi encontrado correlação positiva entre o crescimento de plântulas e vários testes de estimativa do vigor para sementes de soja (SCHUAB et al., 2002), confirmando a eficiência de análise do comprimento como meio de verificação da qualidade fisiológica. Em termo de comprimento de hipocótilo em centímetros, a cultivar ANTA 82, ANTA 82 RR, TMG 123 RR e TMG 1175 RR.

Tabela 2 – Resultados da análise de imagem das plântulas de soja pelo GroundEye®: Índice Manual de Vigor (IMV), Índice de Vigor GroundEye® (IVG), média do comprimento do hipocótilo (H), média do comprimento da radícula (R), relação entre hipocótilo e radícula (H/R). Lavras, MG, 2016.

Cultivar	IMV	IVG	H	R	H/R
ANTA 82	85,03 a	81,04 b	7,52 a	3,74 a	2,01 a
ANTA 82 RR	85,94 a	81,95 a	6,79 a	3,03 a	2,24 a
TMG 1179 RR	40,70 e	31,29 e	1,24 c	1,50 c	0,83 c
M 7739	79,08 c	75,09 c	2,95 c	3,09 a	0,95 c
M 7739 RR	79,11 c	75,12 c	5,88 b	3,16 a	1,86 b
TMG 1176 RR	83,82 b	79,83 b	6,55 b	3,76 a	1,74 b
TMG 1174 RR	46,03 d	38,76 d	3,11 c	2,63 b	1,18 c
TMG 4182	83,02 b	79,03 b	6,55 b	3,76 a	1,74 b
TMG 123 RR	84,97 b	80,98 b	8,40 a	3,72 a	2,26 a
TMG 132 RR	86,10 a	82,11 a	4,41 b	2,86 b	1,54 b
TMG 1175 RR	85,38 a	81,39 a	5,32 b	3,29 a	1,62 b
CV (%)	1,04	1,68	5,19	6,73	9,40

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

O hipocótilo é mais sensível que a radícula sob estresse hídrico, devido a isso, é importante observar seu desenvolvimento, pois é mais sensível às mudanças causadas pelo ambiente (PEREIRA, W.; PEREIRA, S.; SANTOS DIAS, 2015). Entretanto, a correlação entre os comprimentos relativos de hipocótilo, radícula e plântulas aponta para o fato plausível de manter as proporções nas medidas de plântulas em diferentes cultivares.

## 4.2 Experimento 2

Os lotes de sementes estudados avaliados no experimento II apresentaram teor de água entre 10,1% e 10,9%, sendo estes valores considerados usuais nas Condições Normais de Temperatura e Pressão como o ponto de equilíbrio higroscópico para sementes de soja (SMANIOTTO et al., 2014). Conforme a Tabela 3, para cultivar Anta 82, os lotes A, C e D, foram superiores do que o lote Be estatisticamente iguais para os testes de primeira contagem de germinação e germinação. Os mesmos lotes apresentaram mesmo comportamento no teste de envelhecimento acelerado. Nos testes de

emergência e cálculo de índice de velocidade de emergência o lote D foi superior aos demais. No teste de tetrazólio todos os lotes apresentaram desempenho estatisticamente similar.

Tabela 3 – Resultados da caracterização dos lotes com os valores médios de teor de água (TA), primeira contagem de germinação (1ª C), testes de germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio (TZ), de sementes de soja. Lavras, MG, 2016.

Cultivar	Lote	TA	1ªC (%)	G (%)	EA (%)	E (%)	IVE	TZ
ANTA 82	A	10,3 a	90 a	90 a	68 a	87 b	9,27 b	98 a
	B	10,7 a	75 b	75 b	53 b	73 c	7,65 c	100 a
	C	11,0 a	87 a	87 a	65 a	70 c	7,56 c	100 a
	D	10,5 a	87 a	87 a	65 a	98 a	11,33 a	100 a
	CV (%)	0,00	8,4	8,4	11,4	3,7	3,7	1,8
M 7739 RR	A	10,9 a	49 b	49 b	27 b	81 b	9,38 a	84 d
	B	10,5 a	77 a	77 a	55 a	23 c	9,69 a	88 c
	C	11,0 a	77 a	77 a	58 a	84 b	9,56 a	96 a
	D	10,7 a	92 a	92 a	70 a	91 a	10,28 a	93 b
	CV (%)	0,02	13,6	13,6	19,3	6,7	4,5	1,6
TMG 4182	A	10,7 a	85 b	85 b	63 b	69 b	7,61 c	92 b
	B	10,8 a	91 a	91 a	68 a	72 b	7,64 c	91 b
	C	10,9 a	94 a	94 a	72 a	74 b	8,74 b	95 a
	D	10,6 a	88 b	88 b	66 b	87 a	9,89 a	96 a
	CV (%)	0,01	3,3	3,4	4,4	4,3	3,6	2,11
TMG 1174 RR	A	11,1 a	9 c	9 c	0 b	40 a	4,37 b	21 c
	B	10,9 a	20 b	20 b	0 b	45 a	4,45 b	32 b
	C	10,5 a	10 c	10 c	0 b	42 a	4,92 a	22 c
	D	10,4 a	37 a	37 a	15 a	41 a	4,43 b	49 a
	CV (%)	0,01	19,1	19,1	34,71	7,25	5,21	11,7
TMG 123 RR	A	10,9 a	91 a	91 a	69 a	77 a	8,95 b	97 a
	B	10,1 a	89 a	89 a	67 a	82 a	9,29 b	97 a
	C	10,6 a	90 a	90 a	68 a	83 a	9,85 a	99 a
	D	10,3 a	91 a	91 a	69 a	85 a	10,23 a	97 a
	CV (%)	0,00	3,9	3,9	5,1	7,3	6,4	2
TMG 1175	A	10,7 a	76 a	76 a	54 a	70 a	7,90 a	88 a
	B	10,2 a	85 a	85 a	63 a	69 a	7,55 a	93 a
	C	10,2 a	38 b	38 b	16 b	44 b	4,67 b	50 b
	D	10,3 a	89 a	89 a	67 a	70 a	7,50 a	99 a
	CV (%)	0,02	10,4	10,5	15,1	7,3	6,5	8

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

De acordo com a Tabela 3, para cultivar Anta 82, os lotes A, C e D, foram superiores do que o lote B estatisticamente iguais para os testes de primeira contagem de germinação e germinação. Os mesmos lotes apresentaram mesmo comportamento no teste de envelhecimento acelerado. Nos testes de emergência e cálculo de índice de velocidade de emergência o lote D foi superior aos demais. No teste de tetrazólio todos os lotes apresentaram desempenho estatisticamente similar.

Ocorreram discrepâncias entre os resultados do teste de tetrazólio e germinação, isto pode ser explicado por uma das seguintes razões: uso de lotes de sementes com vigor médio ou baixo; presença de sementes com elevados índices de danos mecânicos ou por danos causados por percevejo; sementes infectadas por fungos, tais como *Phomopsis* spp., *Fusarium semitectum*, ou *Colletotrichum truncatum* (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; COSTA 1998). Este fenômeno ocorre com as demais cultivares.

Os patógenos causam danos às sementes através da interferência em processos fisiológicos essenciais, destruindo órgãos de reserva ou tecidos. Portanto, a ação bioquímica de microrganismos está relacionada com a ação de enzimas envolvidas na degradação da parede celular do tecido vegetal e na produção de toxinas as quais irão causar decomposição dos tecidos vivos, causando assim aumento da taxa respiratória do hospedeiro e por consequência a deterioração da semente e baixa germinação (HENNING et al., 2009).

Para a cultivar M 7739 RR pode-se apontar que os lotes B, C e D, apresentaram melhor performance nos testes de primeira contagem de germinação, germinação, e envelhecimento acelerado. O lote H foi superior aos demais no teste de emergência. Todos os lotes apresentaram Índices de velocidade de emergência iguais entre si. Para o teste de tetrazólio o lote G foi superior.

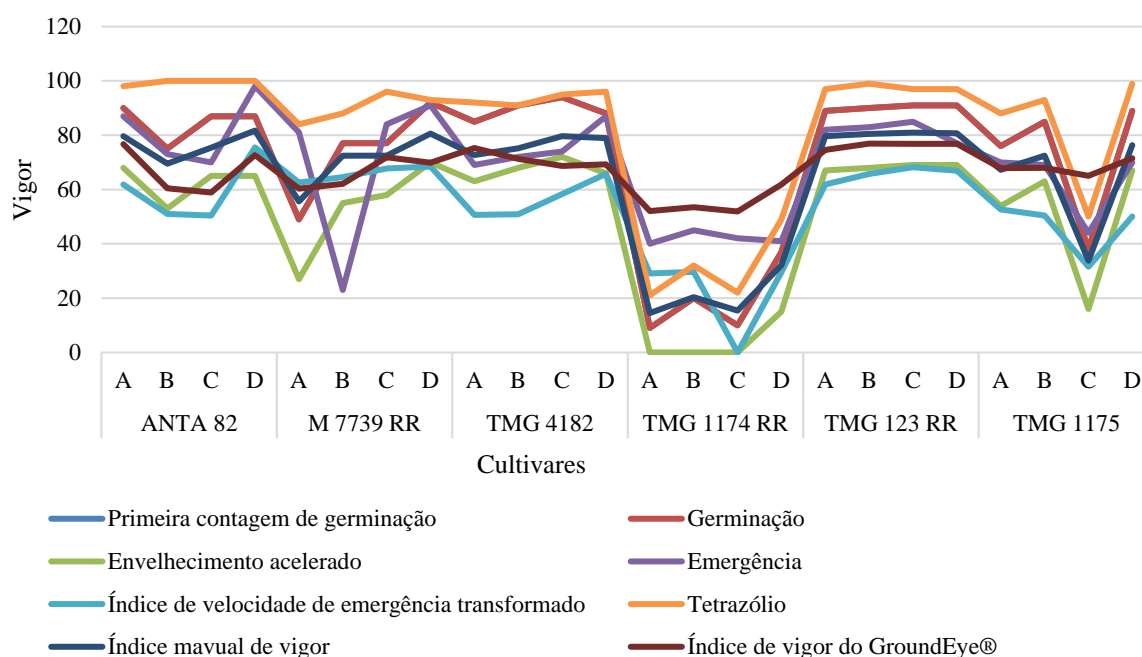
Observando a Tabela 3, para a cultivar TMG 4182, os lotes J e K, foram superiores para as avaliações de germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado. O lote L apresentou maior porcentagem de emergência e maior índice de velocidade de emergência que os demais. Resultados semelhantes foram obtidos por Schuab et al. (2006), e esta está relacionado com a infecção das sementes por *Phomopsis* sp, visto que a presença desse fungo está restrita em sua maioria no tegumento, causando variações nos resultados obtidos entre o teste de germinação e àquele conduzido na areia ou no solo (FRANÇA NETO E HENNING, 1992). No teste de tetrazólio os lotes K e L foram iguais entre si e superiores aos demais.

Na cultivar TMG 1174 RR podemos observar que o lote P apresentou resultados superiores aos demais nos testes de primeira contagem de germinação, germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado, sendo neste último caso o único lote a emitir plântulas normais. O teste de envelhecimento acelerado apresentou porcentagens de plântulas normais inferiores às verificadas para a germinação e para o teste de primeira contagem. Logo, pôde-se presumir também que devido à integridade das sementes ter sido afetada, sua capacidade em suportar as condições adversas impostas pelo teste, alta temperatura e umidade relativa, foi reduzida. Nas avaliações de emergência de plântulas não houve diferenças significativas entre os lotes, mas o lote O apontou maior índice de velocidade de germinação.

A cultivar TMG 123 RR praticamente não foi diferenciada entre lotes pelos testes tradicionais de vigor. Apenas os índices de velocidade de emergência dos lotes Q e R foram superiores aos demais pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O Lote W do cultivar TMG 1175 teve o seu desempenho inferior em todos os testes de vigor aplicados, sendo os demais lotes com comportamento semelhante para todas as situações de estudo.

Figura 2 – Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação, Germinação, Envelhecimento acelerado, Emergência de plântulas, Índice de velocidade de emergência transformado, Tetrazólio, e médias do Índice de vigor manual e Índice de vigor do GroundEye®. Lavras, MG, Brasil, 2016.



O Índice de Vigor manual é um valor intermediário a todos os testes de vigor, sendo mais apropriado para ser utilizado como valor de inferência no equipamento GroundEye®, por ter o peso de parâmetros como resistência, uniformidade, crescimento e respiração de sementes.

O Índice de vigor oferecido pelo equipamento também corrobora com os testes da caracterização dos lotes, com a exceção dos lotes M, N e O, no qual o GroundEye® superestima o vigor do material. Observa-se que em lotes de baixo vigor o teste de tetrazólio torna-se mais próximo dos outros testes de vigor.

Ao estudar a Tabela 4, constata-se que o índice manual de vigor por muitas vezes coincide com os dados apresentados pelo índice de vigor do GroundEye® na diferenciação de lotes dentro das cultivares. Ambos apresentam sensibilidade de três níveis de qualidade fisiológica entre os lotes.

Comparada à germinação e ao teste de primeira contagem, a avaliação referente ao comprimento de plântulas e de suas estruturas, teve uma maior sensibilidade em diferenciar os lotes quanto à qualidade fisiológica. Dos testes que avaliam de comprimento das partes da plântula, o comprimento da parte radicular tem sido considerado sensível para a diferenciação da qualidade fisiológica de cultivares, conforme constata Vanzolini *et al.* (2007). O sistema radicular com maiores

superfícies de absorção e eficiência na aquisição de água é uma característica desejável para manter a estabilidade de produção, principalmente em épocas de baixa precipitação (VIEIRA et al., 2013).

Tabela 4 -Análise de imagem das plântulas de soja pelo GroundEye®: Índice Manual de Vigor (IVM), Índice de Vigor do GroundEye® (IV), média do comprimento do hipocótilo (H), média do comprimento da radícula (R), relação entre hipocótilo e radícula (H/R). Lavras, MG, 2016.

Cultivar	Lote	IVM	IV	H	R	H/R
ANTA 82	A	79,7 a	76,7 a	7,63 a	3,81 a	2,00 a
	B	69,5 b	60,4 b	6,90 b	3,28 b	2,10 a
	C	75,4 a	58,9 b	8,00 a	4,13 a	1,94 b
	D	81,7 a	72,7 a	7,92 a	3,98 a	1,99 a
	CV (%)	5,55	8,99	4,36	6,74	4,23
M 7739 RR	A	55,6 c	60,3 b	5,99 b	3,23 b	1,85 c
	B	72,5 b	62,1 b	6,39 b	3,55 b	1,79 c
	C	72,5 b	71,9 b	5,26 b	2,70 c	1,95 b
	D	80,6 a	69,9 a	8,51 a	3,79 a	2,25 a
	CV (%)	4,93	6,88	6,28	3,41	1,84
TMG 4182	A	72,7 b	75,3 a	5,93b	3,31 b	1,80 a
	B	75,2 a	71,3 a	7,03 a	4,15 a	1,69 a
	C	79,6 a	68,7 a	6,67 a	3,83 a	1,74 a
	D	78,9 a	69,3 a	6,95 a	3,94 a	1,76 a
	CV (%)	5,29	4,79	4,67	5,78	3,76
TMG 1174 RR	A	14,5 c	52,1 a	3,22 a	2,70 a	1,19 a
	B	20,4 b	53,5 a	3,59 a	3,02 a	1,18 a
	C	15,4 c	51,9 a	2,49 b	2,17 b	1,14 b
	D	32,2 a	61,8 a	3,51 a	2,87 a	1,22 a
	CV (%)	9,78	16,15	5,35	3,41	2,31
TMG 123 RR	A	79,6 a	74,6 a	8,51 a	3,79 a	2,25 a
	B	80,5 a	76,9 a	8,88 a	4,11 a	2,16 a
	C	80,9 a	76,8 a	6,28 b	3,41 a	1,84 b
	D	80,7 a	76,8 a	8,80 a	3,96 a	2,22 a
	CV (%)	9,62	8,64	7,42	5,24	3,66
TMG 1175	A	67,3 c	67,8 a	5,43 b	3,36 a	1,61 a
	B	72,5 b	68,0 a	5,81 a	3,68 a	1,58 a
	C	33,8 d	65,0 a	4,70 c	2,83 b	1,66 a
	D	76,3 a	71,5 a	5,72 a	3,53 a	1,62 a
	CV (%)	7,35	10,57	4,26	6,72	3,13

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, o nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

### 4.3 Experimento 3

Os valores de teor de água variaram entre 9,3% e 11,1% nas duas cultivares estudadas. Segundo Scappa-Neto et al. (2001), valores de teor de água próximos de 12% para cultura da soja, permitem uma melhor separação de lotes de acordo com o nível de vigor, sendo importante destacar que para obter melhor conservação da qualidade fisiológica das sementes ortodoxas é desejável que o teor de água das mesmas seja igual ou inferior a este valor.

Tabela 5 – Resultados da caracterização com valores médios obtidos para teor de água (TA), primeira contagem de germinação (1ª C), testes de germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio (TZ), de sementes de soja para os lotes das cultivares SYN 1059 RR e CD 2737 RR. Lavras, MG, 2016.

Cultivar	Lote	TA	1ªC (%)	G (%)	EA (%)	E (%)	IVE	TZ
SYN 1059 RR	101	10,4 a	81 a	84 a	47 b	74 b	7,87 c	70 b
	102	10,8 a	65 b	70 b	30 d	72 b	7,86 c	69 b
	103	10,9 a	72 b	76 b	44 b	74 b	8,23 b	70 b
	104	10,6 a	69 b	73 b	45 b	72 c	8,50 b	68 c
	105	10,4 a	79 a	82 a	36 c	83 a	9,18 a	79 a
	106	10,1 a	81 a	85 a	28 d	83 a	9,60 a	79 a
	107	9,7 a	80 a	83 a	59 a	81 a	9,35 a	77 a
	108	9,9 a	78 a	81 a	47 b	77 b	8,38 b	73 b
	109	10,3 a	71 b	73 b	41 b	75 b	8,44 b	71 b
	110	10,2 a	69 b	74 b	35 c	75 b	8,21 b	71 b
	111	10,0 a	65 b	71 b	28 d	68 c	7,67 c	64 c
	112	9,8 a	68 b	71 b	37 c	71 c	8,06 c	67 c
	CV (%)	0,30	8,71	8,28	9,99	3,52	3,62	3,72
CD 2737 RR	114	11,0 a	76 b	79 b	43 d	77 c	7,52 e	75 c
	115	10,9 a	75 b	78 b	38 d	76 c	8,40 d	74 c
	116	9,7 a	69 c	69 c	50 c	75 c	8,82 c	73 c
	117	9,6 a	88 a	90 a	73 a	93 a	11,23 a	90 a
	118	10,2 a	89 a	89 a	54 c	87 b	10,50 b	85 b
	119	10,1 a	87 a	91 a	55 c	91 b	10,90 a	89 a
	120	11,2 a	84 a	89 a	50 c	86 b	10,25 b	89 a
	121	11,1 a	74 b	74 b	51 c	76 c	9,08 c	89 a
	122	10,3 a	89 a	89 a	48 c	95 a	11,08 a	91 a
	123	9,9 a	93 a	93 a	43 d	95 a	11,35 a	93 a
	124	9,6 a	87 a	88 a	63 b	90 b	10,88 a	91 a
	125	10,9 a	83 a	85 a	72 a	88 b	10,30 b	90 a
		CV (%)	0,50	5,35	5,2	8,22	3,14	3,44

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, o nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

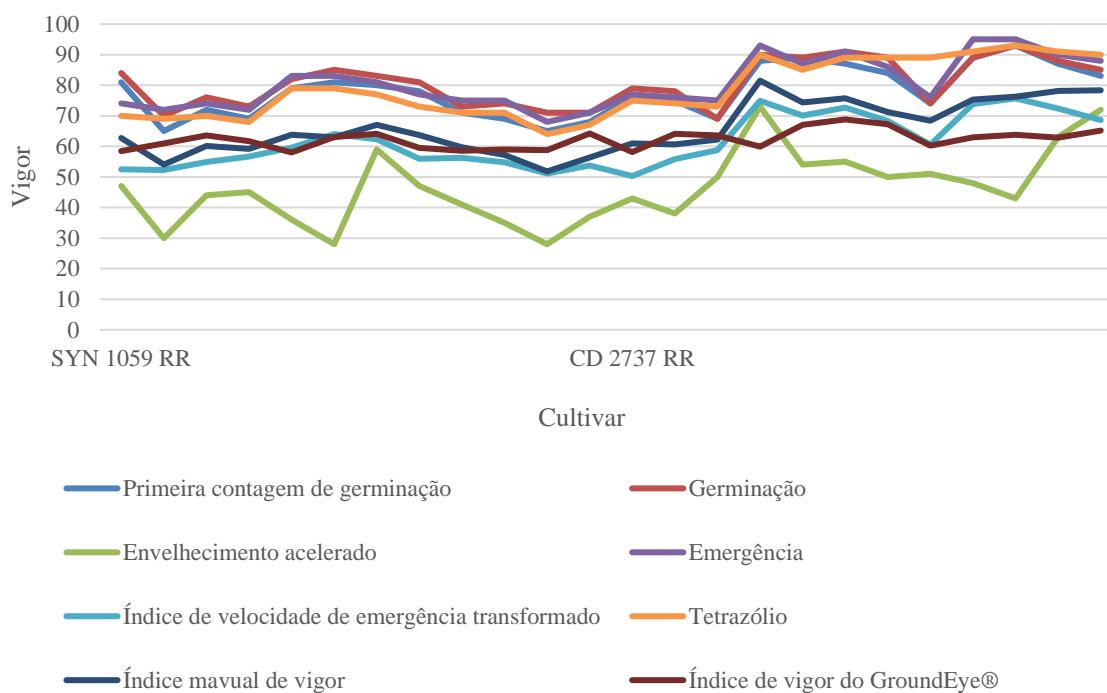


Verifica-se na Tabela 5 que os lotes 101, 105, 106, 107 e 108 do cultivar SYN 1059 RR são superiores de acordo com os testes de primeira contagem de germinação e germinação. Pode se observar que a germinação após o envelhecimento acelerado diminuiu com o aumento do teor inicial de água das sementes, sendo apenas o lote 107 com o maior desempenho. Estes dados concordam com o trabalho de Marcos-Filho (1999) que expôs que sementes com teores de água mais alto são, mais sensíveis às condições do teste de envelhecimento acelerado.

Em sua maioria os lotes apresentaram desempenho semelhante para os testes de emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência e tetrazólio, sendo os lotes 105, 106 e 107 com melhor desempenho fisiológico.

Ao estudar a cultivar CD 2737 RR, nota-se que os testes de primeira contagem de germinação e germinação distinguiram os lotes em três qualidades fisiológicas. O teste de envelhecimento acelerado apontou o lote 117 e 125 como iguais e superiores aos outros, dividindo-os em quatro níveis de vigor. O teste de emergência apontou os lotes 117, 122 e 123 como superiores.

Figura 3 – Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação, Germinação, Envelhecimento acelerado, Emergência de plântulas, Índice de velocidade de emergência transformado, Tetrazólio, e médias do Índice de vigor manual e Índice de vigor do GroundEye®, para os lotes das cultivares SYN 1059 RR e CD 2737 RR. Lavras, MG, 2016.



Para a cultivar CD 2737 RR o índice de velocidade de germinação foi o que melhor dividiu os lotes por vigor, sendo cinco qualidades apontadas. O único lote com valores superiores em todos os testes aplicados foi 117.

Mesmo apresentando uma menor diferenciação de níveis de desempenho fisiológico, a porcentagem de germinação é um indicador da alta qualidade fisiológica das sementes, pois a capacidade de germinação de um lote de sementes, em condições de laboratório, deve ser superior a 80% para a obtenção de um bom desempenho no campo (BEZERRA et al., 2014). Valores encontrados no teste de envelhecimento acelerado estão de acordo com os de Melo *et al.* (2016), os quais observaram diferença significativa entre as médias, diferenciando os lotes de alto e baixo vigor.

Aponta-se na Figura 3, que o Índice de vigor do equipamento não superestimou os dados, demonstrando valores medianos entre os testes de vigor tradicionais. Os valores médios para o teste de envelhecimento acelerado, se comportaram muito abaixo da média de vigor pelos demais testes tradicionais. Isto ocorre pois na condução do teste a elevação na temperatura promove redução mais drástica na germinação do que o prolongamento do período de exposição das sementes ao envelhecimento. Isto é importante, pois se tratando de empresa produtora de sementes, a obtenção de resultados em períodos mais curtos é fundamental para as tomadas de decisão internas (DUTRA & VIEIRA, 2004).

Ao estudar a Tabela 6, constata-se que o Índice de vigor manual, que leva em consideração todos os valores médios, diferenciou com sucesso os níveis de desempenho fisiológico dos lotes estudados dentro das duas cultivares. Para a cultivar SYN 1059 RR em seis níveis distintos e para a cultivar CD 2737 RR em doze níveis de vigor.

É necessário considerar que os testes utilizados avaliam diferentes aspectos do comportamento das sementes, isto é, sua capacidade de resposta quando expostas a diferentes condições; conseqüentemente, um mesmo lote pode exibir reações variáveis perante ambiente diferentes. Tal sensibilidade se deve por congregarem metodologias com diferentes parâmetros de avaliação, sendo o teste de primeira contagem se baseando na velocidade de germinação, bem como o índice de velocidade de emergência; o teste de tetrazólio se fundamentado na respiração celular para coloração dos tecidos ao reagir com o sal de tetrazólio; e na capacidade de resistência a deterioração, no qual se baseia o teste de envelhecimento acelerado.

O índice de vigor do GroundEye® apresentou diferença estatística significativa entre lotes nas duas cultivares avaliadas. Ao analisar a Tabela 6, para a cultivar SYN 1059 RR os lotes 106 e 107 são superiores aos demais e seus dados vão de acordo com o Índice de vigor manual. Este comportamento indica que o cálculo de vigor utilizando o equipamento é adequado para esta condição estudada. O mesmo ocorre com a cultivar CD 2737 RR, nesta o melhor lote foi o 117, o que também vai de acordo com o teste de Índice de vigor manual.

A dificuldade de se adotar apenas um teste de vigor reside no fato de que as diferentes metodologias se baseiam em diferentes parâmetros. O teste de frio e o teste de envelhecimento acelerado são considerados de resistência, pois o lote de sementes que melhor resistir às condições adversas é considerado o de maior potencial fisiológico (MIGUEL et al., 2001).

Tabela 6 -Análise de imagem das plântulas de soja pelo GroundEye®: Índice Manual de Vigor (IVM), Índice de Vigor (IV), média do comprimento do hipocótilo (H), média do comprimento da radícula (R), relação entre hipocótilo e radícula (H/R) para os lotes das cultivares SYN 1059 RR e CD 2737 RR. Lavras, MG, 2016.

Cultivar	Lote	IVM	IV	H	R	H/R
SYN 1059 RR	101	62,7 b	59,7 c	3,45 c	1,17 c	2,95 b
	102	54,0 e	59,7 c	2,39 d	0,53 c	4,54 a
	103	60,1 c	61,1 b	4,07 b	1,55 c	2,63 b
	104	59,2 c	60,2 c	3,64 c	1,29 c	2,83 b
	105	63,8 b	59,7 c	3,54 c	1,23 c	2,88 b
	106	62,9 b	68,1 a	7,28 a	3,50 a	2,08 c
	107	67,0 a	69,4 a	7,31 a	3,52 a	2,08 c
	108	63,7 b	63,8 b	5,70 b	2,54 b	2,24 b
	109	59,7 c	61,8 b	5,19 b	2,23 b	2,33 b
	110	57,2 d	62,1 b	5,41 b	2,37 b	2,29 b
	111	51,8 f	58,6 c	2,55 c	0,62 c	4,10 a
	112	56,4 d	59,6 c	3,62 c	1,28 c	2,84 c
	CV (%)	2,41	8,32	1,87	9,13	4,53
Cultivar	Lote	VM	VA	H	R	H/R
CD 2737 RR	114	61,0 k	64,8 c	5,82 c	2,62 c	2,23 b
	115	60,6 l	66,9 c	6,76 b	3,18 c	2,12 b
	116	62,2 j	60,3 d	3,75 d	1,35 d	2,77 a
	117	81,5 a	82,2 a	12,41 a	6,62 a	1,87 b
	118	74,4 g	72,8 b	8,70 b	4,37 b	1,99 b
	119	75,7 e	69,5 c	7,07 c	3,38 c	2,09 b
	120	71,2 h	66,4 c	6,58 c	3,08 c	2,14 b
	121	68,4 i	58,6 d	2,67 d	0,70 d	3,82 a
	122	75,3 f	74,4 b	9,21 b	4,68 b	1,97 b
	123	76,2 d	74,2 b	9,11 b	4,62 b	1,97 b
	124	78,1 c	74,4 b	9,21 b	4,68 b	1,97 b
	125	78,3 b	70,9 b	9,53 b	4,87 b	1,96 b
	CV (%)	0,01	9,05	1,42	11,08	4,49

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, o nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

O parâmetro respiração pode ser avaliado pelo teste de tetrazólio, que indica atividade respiratória nas mitocôndrias, existindo viabilidade celular no tecido da semente (SEGALIN et al., 2013).

Os testes de tamanho e peso de plântulas e suas partes é um parâmetro em testes de vigor, pois as que apresentam maior tamanho e massa apresentam maior capacidade de suprimento de reservas dos tecidos de armazenamento e maior incorporação destes pelo tecido embrionário (OLIVEIRA et al., 2009).

A velocidade e uniformidade de emergência de plântulas, são determinantes do sucesso do estabelecimento do estande. A velocidade de germinação e de emergência são parâmetros observados nos testes de índice de velocidade de germinação e de emergência – IVG E IVE (BEWLEY;

BLACK, 1994)., bem como o do período demandado para a ocorrência de 50% de germinação – T50% (USBERTI; MARTINS, 2007).

As médias dos hipocótilos evidenciaram quatro classes de vigor assim como as médias para radícula. Todos os parâmetros utilizados no cálculo do índice de vigor pelo equipamento GroundEye® L 800 são confiáveis para a distinção de lotes de sementes de soja de germinação semelhante e com diferentes níveis de qualidade fisiológica.

## 5 CONCLUSÕES

Com a utilização da técnica de análise de imagens na avaliação de plântulas com quatro dias de germinação empregando o equipamento GroundEye® L 800 é possível distinguir lotes de soja de diferentes níveis de vigor.

Existe correspondência entre os resultados dos testes tradicionais usados para avaliação de vigor de sementes de soja e os resultados obtidos na avaliação do índice de vigor na análise de imagens.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, L. A. S. et al. Computerized analysis in the physiological quality of coffee seeds. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 11, p. 40820-40823, 2016.
- ALVARENGA, R.O.; MARCOS FILHO, J.; GOMES JUNIOR, F. G. Avaliação do vigor de sementes de milho super doce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 488-494, 2012.
- ALVES, C. Z. et al. pH of exudate test in the physiological quality of crambe seeds. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 6, p. 1014-1018, 2016.
- AOSA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing, p. 88, 1983.
- AOSA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed Vigor Testing Handbook**. New York, p. 341, 2009.
- BANDEIRA, J. M. et al. Antioxidative metabolism: a tool to detect small differences in the vigor of soybean seeds. **Iheringia Serie Botanica**, Porto Alegre, v. 69, p. 285-292, 2014.
- BARBIERI, A. P. P. et al. Teste de condutividade elétrica individual em sementes de soja e a relação com a emergência de plântulas a campo. **Revista Interciência**, v. 38, n. 4, p. 310-315, 2013.
- BARBOSA, R. M. et al. Discriminação de lotes de sementes de soja por meio de técnicas exploratórias multivariadas. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 302-310, 2013.
- BEWLEY, J.D. ; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2 ed. New York: Plenum, 1994. 445p.
- BEZERRA, A. R. G. et al. Efeito da dessecação com etefão na produção e qualidade da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 37, n. 3, p. 312-319, set. 2014.
- BORNHOFEN, E. et al. Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 46-55, 2014.
- BRASIL (2009). Regras para análise de sementes., edited by P. e. A. Ministério da Agricultura & S. d. D. Agropecuária., p. 395 p. Brasília: MAPA/ACS
- CANTARELLI, L. D. et al. Physiological seeds quality: Spatial distribution and variability among soybeans plant population. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 344-351, 2015.
- CARVALO, I. R. et al. Associações fenotípicas entre caracteres fisiológicos da soja contrastante ao hábito de crescimento. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.08, n.03, p.30 – 40, set/dez. 2015.
- CHIQUITO, A. A.; GOMES JUNIOR, F. G.; MARCOS FILHO, J. Assessment of physiological potential of cucumber seeds using the software Seedling Vigor Imaging System® (SVIS®). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 255-263, 2011.
- COSTA, N. P. et al. Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 128-132, 2003.

- CUI, X. et al. Relationship between root vigour, photosynthesis and biomass in soybean cultivars during 87 years of genetic improvement in the northern China. **Photosynthetica**, v. 54, p. 81-86, 2016
- DELARMELINO-FERRARESI, L. M., VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 9, p. 14-18, 2014.
- DELL'AQUILA, A. Digital imaging information technology applied to seed germination testing. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n.1, p. 213-221, 2009.
- DHUNGANA, S. K. et al. Unraveling the effect of structurally different classes of insecticide on germination and early plant growth of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Pesticide Biochemistry And Physiology**, San Diego, v. 130, p. 39-43, junho 2016.
- DINIZ, O. F. et al. Incidence of pathogens and field emergence of soybean seeds subjected to harvest delay. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 478-484, 2013.
- DODE, J. S. et al. Teste de respiração em sementes de soja para avaliação da qualidade fisiológica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 2, p. 193-198, 2013.
- DUTRA, A. S.; VIEIRA, R. D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, mai-jun, 2004.
- Ferreira, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0** (Build 67). Lavras: DEX/UFLA, 2003.
- FINA, B. L. et al. Comparison of fluoride effects on germination and growth of *Zea mays*, *Glycine max* and *Sorghum vulgare*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 96, n.11, p. 3679–3687, 2016.
- FRANÇA NETO, J. B., KRZYŻANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. EMBRAPA-CNPSO (Documentos, 116) Londrina, 72 p., 1998.
- FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. **DIACOM: Diagnóstico Completo da Qualidade da Semente de Soja**. Londrina: Embrapa/CNPSO, 1992. 22p. (Circular Técnica, 10).
- FREITAS, F. S.; ALBRECHT, A. J. P.. Estudo do Mercado das Mantenedoras das Cultivares de Soja no Estado do Mato Grosso. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 1, n. 3/4, p. 7-25, 2015.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**, 3<sup>rd</sup>ed. New Jersey: Prentice-Hall, 976 p., 2010.
- GUEDES, R. S. et al. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes *Erythrina velutina* Willd. (FABACEAE - PAPILIONOIDEAE). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1360-1365, 2009.
- HARTER, F. S.; BARROS, A. C. S. A. Cálcio e silício na produção e qualidade de sementes de soja. **Revista brasileira de sementes**, v. 33, p. 54-60, 2011
- HAYKIN, S. **Neural Networks and Learning Machines**, Prentice Hall, Third Edition, 2008.
- HENNING, F. A. et al. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.

- HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; ZIMMER, P. D.; TEPLIZKY, M. D. F. Qualidade fisiológica, sanitária e análise de izoenzimas de sementes de aveia preta tratadas com diferentes fungicidas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 9, p. 63-69, 2009.
- HOFFMANN, G. **CIELab Color Space**. Disponível em: <<http://docs-hoffmann.de/cielab03022003.pdf>>. Acesso em: 04 abril 2017.
- KHAN, A. Z., Seed quality and vigor os soybean cultivars as influenced by canopy temperature. **Pakistan Journal of Botany**, v. 43, p. 643-648, 2011.
- KIKUTI, A. L. P.; MARCOS FILHO, J. Testes de vigor em sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 1, 2012.
- LAMARCA, V. E.; BARBEDO, C. J. Methodology of the tetrazolium test for assessing the viability of seeds of *Eugenia brasiliensis* Lam., *Eugenia uniflora* L. and *Eugenia pyriformis* Cambess. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 4, p 427-434, 2014.
- LOPES, M. M.; SILVA, C. B. da; VIEIRA, R. D. Physiological potential of eggplant seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, p. 225-230, 2013.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.1, p.176-177, 1962.
- MAHAJAN, S.; DAS, A.; SARDANA, H. K. Image acquisition techniques for assessment of legume quality. **Food Science and Techonology**, v. 42, p. 116-133, 2015.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.3, p.1-24.
- MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 230p., 1987
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: na overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, p. 363-374, 2015.
- MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**, rio de Janeiro: Brasport, 1999.
- MARTINS, C. C. et al. Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n.3, p. 455-461, 2016.
- MATTIONI, N. M. et al. Individual electrical conductivity test for the assessment of soybean seed germination. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 31-38, 2015.
- MCDONALD, M. B. et al. Using the seed vigor imaging system for improving stand establishment, **ActaHorticulturae**, San Antonio, v. 792, pp. 83-91
- MELO, D. et al . Qualidade de sementes de soja convencional e Roundup Ready (RR), produzida para consumo próprio e comercial. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 39, n. 2, p. 300-309, 2016.
- MENDES, C. R. et al. Respiratory activity for the differentiation of vigor on soybean seeds lots. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v 31, p. 171-176, 2009.



MIGUEL, M. H. et al. Teste de frio para avaliação do potencial fisiológico de sementes de algodão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.741-746, out./dez. 2001.

MOREANO, T. B. et al. Physical and physiological qualities of soybean seeds as affected by processing and handling. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 466-477, 2013.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.49-85, 1994.

OAKLEY, K.; KESTER, S. T.; GENEVE, R. L. Computer-aided digital image analysis of seedling size and growth rate for assessing seed vigour in *Impatiens*. **Seed Science and Technology**, v. 32, p. 907-915, 2004.

OLIVEIRA, A. C. S. et al. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **Revista Científica Internacional**, Ano 2, Nº 04, Janeiro de 2009

OLIVEIRA, S. et al. Amassamento durante o manejo do cultivo: efeito no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 1059-1069, 2014.

PEREIRA, W. A.; PEREIRA, S. M. A.; SANTOS DIAS, D. C. F. Dynamic of reserves of soybean seeds during the development of seedlings of different commercial cultivars. **Journal of Seed Science**, Londrina, v 37, p. 63- 69, 2015.

PEREIRA, W.A.; PEREIRA, S.M.A.; DIAS, D.C.F.S. Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. **Journal of Seed Science**, v.35, n.3, p.316-322, 2013.

PERUZZO, A. M.; PIOLI, R. N.; SALINAS, A. R. Effect of *Fusarium graminearum* Schwabe on physiological quality of soybean seeds and wheat caryopsis in Argentina. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 1-11, 2015.

PINTO, C. A. G. et al. Image analysis in the evaluation of the physiological potential of maize. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 319-328, 2015.

RIGON, C. A. G. et al. Germinação e desenvolvimento inicial de picão-preto e nabo forrageiro submetidos a extratos de canola. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 25-28, 2014.

ROCHA, C. R. M.; SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 970-976, 2015.

RODRIGUEZ-PULIDO, F. J. et al. Preliminary study to determine the phenolic maturity stage of grape seeds by computer vision. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 732, p. 78-82, 2012.

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

SANTORUM, M. et al. Comparison of tests for the analysis of vigor and viability in soybean seeds and their relationship to field emergence. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 35, p. 83- 92, 2013.

SANTOS, J. F. dos et al. Avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, v. 33, n. 4, p. 743-751, 2011.

SCAPPA NETO, A. et al. Efeito do teor inicial de água de sementes de feijão e da câmara no teste de envelhecimento acelerado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.747-751, 2001.

SCHUAB, S.R.P. et al. Utilização da taxa de crescimento das plântulas na avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina v.24, n.2, p.90-95, 2002

SCHUAB, S. R. P. et al. Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a emergência das plântulas em campo. **ActaScientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 553-561, Oct./Dec., 2006

SEGALIN, S. R. et al. Physiological quality of soybean seeds treated with different spray volumes. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1-8, 2013.

SILVA, C. B. et al. Automated system of seedling image analysis (SVIS) and electrical conductivity to assess sun hemp seed vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2012.

SILVA, R. C. et al. Adaptação do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de girassol. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, p. 105-113, jan 2013.

SILVA, I. N., SPATTI, D. H., FLAUZINO, R. A. Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas - Curso Prático, Editora Artliber, 2010.

SILVA, T. A. et al. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 227-232, 2016.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Análise de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 145-151, 2014.

SMANIOTTO, T. A. S. et al. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 446-453, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.

TUNES, L. M. et al. Envelhecimento acelerado em sementes de azevém com e sem solução salina e saturada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, p.33-37, 2011.

USBERTI, R.; MARTINS, L. Sulphuric acid scarification effects on *Brachiariabrizantha*, *B. humidicola* and *Panicum maximum* seed dormancy release. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 143-147, 2007.

VANITHA, C.; KATHIRANVAN, M. Seed fortification with chicory (*Cichoriumintybus* L.) leaf extract to enhance seed vigour, viability and productivity in blackgram (*Vigna mungo* L.). **Legume Reasearch**, Kaenal, v. 38, p. 804-809, dez 2015)

VANZOLINI, S. et al. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29 p. 90-96, 2007.

VIEIRA, B. G. T. L. et al. Alternative procedure for the cold test for soybean seeds. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 540-545, 2010.

VIEIRA, F. C. F. et al. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 543-552, Mar./Abr. 2013

VIRGOLINO, Z. Z. et al. Physiological quality of soybean seeds artificially cooled and stored in different packages. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 473-480, May 2016.

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

ZUCHI, J., et al. Physiological quality of dynamically cooled and stored soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.35, p. 353-360, 2013.