

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

LETÍCIA WENDT

**TESTES DE VIGOR E A RELAÇÃO COM A EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE
SOJA A CAMPO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2015

LETÍCIA WENDT

**TESTES DE VIGOR E A RELAÇÃO COM A EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE
SOJA A CAMPO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dra. Marlene de Matos Malavasi.
Coorientadores: Dr. Ubirajara Contro Malavasi; Dr. João Alexandre Lopes Dranski.

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

W473t	<p>Wendt, Leticia</p> <p>Testes de vigor e a relação com a emergência de plântulas de soja a campo / Leticia Wendt. - Marechal Cândido Rondon, 2015.</p> <p>x, 30 p.</p> <p style="text-align: center;">Orientador: Dr. Marlene de Matos Malavasi Coorientador: Ubirajara Contro Malavasi João Alexandre Lopes Dranski</p> <p style="text-align: center;">Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2015.</p> <p style="text-align: center;">1. Soja. 2. Fisiologia vegetal. I. Malavasi, Marlene de Matos. II. Malavasi, Ubirajara Contro. III. Dranski, João Alexandre Lopes. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 22.ed. 633.34 CIP-NBR 12899</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborado por Marcia Elisa Sbaraini Leitzke CRB-9/539

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO E DOUTORADO

LETÍCIA WENDT

**TESTES DE VIGOR E A RELAÇÃO COM A EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE
SOJA A CAMPO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

ATA DA DEFESA

Marechal Cândido Rondon, ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

DEDICO

A Deus,
que permitiu que tudo pudesse ser realizado.

Aos meus pais Hilário Wendt e Maria Madalena Kogikoski,
pela compreensão e incentivo de minha trajetória.

À minha irmã Vanessa Wendt,
pela amizade, incentivo e companheirismo.

Ao meu amor Gustavo Carvalho de Oliveira,
pelo apoio incondicional em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste pela minha formação profissional.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Meus sinceros agradecimentos à professora Dra. Marlene de Matos Malavasi pelos ensinamentos e conselhos que contribuíram significativamente para meu crescimento pessoal e profissional. Muito obrigada!

Ao professor Dr. Ubirajara Contro Malavasi pela co-orientação e pelos ensinamentos.

Ao Dr. João Alexandre Lopes Dranski pela paciência e por não medir esforços em me ajudar nessa caminhada. Obrigada pela excelente co-orientação.

Aos professores do programa de pós-graduação em Agronomia pelos ensinamentos.

Ao Dr. Francisco Guilhien Gomes Junior pelo auxílio nas pesquisas de imagens e pela valiosa contribuição em minha formação.

Aos professores doutores Silvio Moure Cícero e Julio Marcos Filho pela disponibilidade de pesquisa no laboratório de análise de imagens de sementes.

Aos amigos Luiz Carlos Nardi e Maria de Fátima Zorato pelo incentivo ao mestrado e por acreditarem no meu potencial. A vocês devo meu início de carreira.

À família do meu namorado pelo apoio e carinho.

À amiga Flávia Espanhol que tive a oportunidade de conhecer nesse período, obrigada por confiar em meu trabalho.

Aos amigos (as) Maicon Javorski, Nicanor Pilarski, Márcia Bartolomeu Agustini, Natália Zapparoli Fanhani e Luanna Sandman pelo apoio, amizade e momentos de descontração.

Aos parceiros (as) do Programa de Pós-graduação que contribuíram de alguma forma para a conclusão dessa etapa: Neusa Michelin Herzog, Cristina Fernanda Schneider, Fabiane Cristina Gusatto, Deisnara Schulz, Michele Ajala, Vanessa Leonardo Ignácio, Cristiane Paulus, André Battistus, Paulo Ricardo Lima, Ricardo Felipe Braga Sousa.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação Leila e Ana Paula pela paciência e ajuda.

Aos meus familiares e amigos que torceram pela realização do mestrado.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.
(Albert Einstein)

RESUMO

WENDT, Letícia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, maio – 2015. **Testes de vigor e a relação com a emergência de plântulas de soja a campo.** Orientador: Marlene de Matos Malavasi. Coorientador: Ubirajara Contro Malavasi; João Alexandre Lopes Dranski.

Uma das prioridades das empresas produtoras de sementes é a redução do tempo para decidir sobre o destino de lotes e os testes de vigor, atendem esses objetivos, com resultados rápidos e precisos. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo identificar os testes de vigor que melhor predizem o estabelecimento de plântulas de soja em campo. Foram avaliados seis lotes de sementes da cultivar CD 2737 RR, com quatro repetições, implantados em laboratório no delineamento inteiramente casualizado e no campo em delineamento em blocos casualizados. As variáveis analisadas foram [CO₂], índice de vigor - SVIS[®] (Seed Vigor Imaging System), envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio (TZ), condutividade elétrica (CE), emergência de plântulas em campo (EP) e índice de velocidade de emergência (IVE). Os dados foram submetidos à análise da variância e após, ao teste de normalidade de Lilliefors, e as médias agrupadas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. O desempenho em campo de sementes de soja é determinado pelos testes de tetrazólio, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e análise da concentração de CO₂.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Potencial fisiológico. Estabelecimento em campo.

ABSTRACT

WENDT, Letícia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, may – 2015. **Vigor tests and relationship with emergency seedlings soy a field.** Advisor: Dra. Marlene de Matos Malavasi. Co-Advisors: Ubirajara Contro Malavasi; João Alexandre Lopes Dranski.

One of the priorities of the seed companies is to reduce the time to decide on the fate of lots and vigor tests, meet these objectives, with fast and accurate results. Given the above, this study aimed to identify the vigor tests that better predict the establishment of field soybean seedlings. We evaluate six seed lots of cultivar CD 2737 RR, with four replications, implanted in the laboratory in a completely randomized design and in the field in a randomized block design. The variables analyzed were [CO₂], vigor index - SVIS[®] (Seed Vigor Imaging System), accelerated aging (EA), tetrazolium (TZ), electrical conductivity (EC), emergency field in seedlings (EP) and speed index emergency (IVE). Data were submitted to analysis of variance and after, the Lilliefors normality test, and the averages grouped to the level of 5% probability by Scott- Knott test. The performance in soybean field is determined by the tetrazolium test, accelerated aging, electrical conductivity and analysis of CO₂ concentration.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Physiological potential. Establishment in the field.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1- Porcentagem de germinação (G) e grau de umidade (GU) de seis lotes de soja CD2737RR.	15
Tabela 2 - Envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio-vigor (TZv), condutividade elétrica (CE), concentração (CO ₂) e seed vigor imaging system-índice de vigor (SVISiv) de seis lotes de soja CD 2737RR.....	16
Figura 1- Dendrograma da análise de agrupamento apresentando o nível de dissimilaridade entre os testes de vigor em soja CD 3727RR..	18
Tabela 3 - Emergência em campo (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) de seis lotes de soja 2737 RR.	19
Figura 2- Precipitação pluviométrica diária acumulada (mm), médias diárias da temperatura mínima e máxima (°C) e umidade relativa do ar (%) na região de Marechal Cândido Rondon, PR... ..	20
Tabela 4 - Coeficiente de correlação simples entre testes de vigor, envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio (TZ), condutividade elétrica (CE), análise de concentração de CO ₂ (CO ₂) e seed vigor imaging system (SVIS), com o desempenho em campo, emergência em campo (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE), de sementes de soja CD 3727RR.....	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA.....	5
2.2	ANÁLISE COMPUTADORIZADA DE IMAGENS DE PLÂNTULAS -SEED VIGOR IMAGING SYSTEM (SVIS [®]).....	6
2.3	ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	8
3	MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS LOTES	11
3.1.1	Grau de umidade.....	11
3.1.2	Germinação.....	11
3.2	TESTES DE VIGOR	11
3.2.1	Tetrazólio.....	11
3.2.2	Envelhecimento acelerado	12
3.2.3	Condutividade elétrica	12
3.2.4	Análise computadorizada de imagens de plântulas – Seed vigor imaging system (SVIS [®])	12
3.2.5	Análise de concentração de CO ₂	13
3.2.6	Emergência de plântulas em campo	13
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5	CONCLUSÕES.....	24
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja, com uma produção de cerca de 90 milhões de toneladas, abrangendo uma área total de 27 milhões de hectares (CONAB, 2014). Para atender essa produção, a demanda por sementes ultrapassa 1 milhão de toneladas (FAO, 2015). Nesse seguimento, é essencial a produção de sementes com qualidade satisfatória para o estabelecimento adequado da cultura e obtenção de rendimentos aceitáveis (BORNHOFEN, 2015).

A soja está economicamente entre as culturas mais importantes do Brasil, por isso justifica-se a busca de tecnologias para melhorar o desempenho das sementes em campo. Nos últimos anos, a tecnologia de sementes tem avançado progressivamente e o potencial fisiológico, impulsionado pelos avanços tecnológicos influenciados pela pesquisa, segue o mesmo andamento (NUNES et al., 2014).

A avaliação da qualidade fisiológica de sementes é essencial em programas de controle de qualidade, pois deve empregar eficiência, baixo custo e métodos replicáveis. Esta avaliação é frequentemente realizada através do teste de germinação e deve ser complementada com testes de vigor, especialmente porque somente o teste de germinação pode superestimar o potencial das sementes. Os testes de vigor têm sido utilizados principalmente para identificar diferenças associadas ao desempenho das sementes durante armazenagem ou após a semeadura, tentando destacar lotes eficientes para o estabelecimento de plantas no campo (SILVA; CÍCERO, 2014).

Os testes de vigor são mais sensíveis para identificar estágios menos avançados de deterioração das sementes, podendo facilitar a tomada de decisões sobre o destino dos lotes de sementes. Uma das limitações dos testes de vigor está relacionada com o tempo necessário para execução e a subjetividade na sua avaliação (PINTO et al., 2015).

Vários testes são utilizados rotineiramente para a avaliação do vigor de sementes de soja, destacando-se os de envelhecimento acelerado, tetrazólio, condutividade elétrica, crescimento de plântulas e classificação do vigor de plântulas (VIEIRA et al., 2003). Entretanto, nos últimos anos, a pesquisa em tecnologia de sementes tem priorizado procedimentos computadorizados para a avaliação do vigor de sementes.

Um procedimento para a avaliação automatizada do vigor de sementes foi desenvolvido por Sako et al. (2001), utilizando imagens digitalizadas de plântulas de alface. Nesse sistema, denominado Seed Vigor Imaging System - SVIS[®], o vigor é quantificado por meio de um índice, calculado com base nos valores biométricos e germinativos de plântulas.

A metodologia foi adaptada para diversas espécies de vegetais, como a de soja (HOFFMASTER et al., 2003, HOFFMASTER et al., 2005; MARCOS Filho et al., 2009).

Outro procedimento automatizado que pode permitir a obtenção de resultados sobre o vigor de lotes de sementes é a quantificação da taxa respiratória, com base na determinação da concentração de CO₂. Como alternativa, Dranski et al. (2013) desenvolveram um sistema, testado inicialmente com sementes de canola, que permite quantificar a liberação de CO₂ através de um analisador de gás infravermelho (IRGA). O uso de um IRGA permite a amostragem não destrutiva das sementes.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo analisar a eficiência comparativa entre diferentes testes na avaliação do vigor de sementes de soja com germinação semelhante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A resistência das sementes de alta qualidade a condições adversas de campo, ou seja, capazes de emergirem plantas normais e de alta produção, tem grande importância na agricultura. Por esse motivo, a identificação de testes de vigor que propiciem uma margem segura quanto ao comportamento das sementes em campo vem sendo uma busca contínua. (GHASSEMI GOLEZANI et al., 2010). Além disso, as empresas de sementes dependem de testes de vigor para assegurar a alta qualidade dos lotes de sementes para os produtores (JESUS et al., 2014).

As condições adversas impõem uma desuniformidade entre o teste padrão de germinação e os resultados de campo, firmando-se uma necessidade na identificação um teste que forneça condições equiparadas de germinação em campo, com todas as adversidades que possam afetar seu desempenho (PERES, 2010).

Para uma análise completa e eficiente de um lote de sementes, em termos de prever o quão bem sucedido será o estabelecimento de uma população vigorosa de plantas no campo, é necessário para complementar as informações fornecidas pelo teste de germinação utilizar os testes de vigor (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2012).

No entanto, nem todos os testes de vigor representam claramente a emergência em campo, tornando-se necessário avalia-los de uma forma que reflita o desenvolvimento das sementes no campo através de exames laboratoriais (SANTORUM et al., 2013).

No esforço para se determinar as respostas para as principais dúvidas referentes ao desempenho das sementes, passaram a ser atribuídas exclusivamente ao “alto” ou ao “baixo vigor”. Assim, o vigor tornou-se a principal justificativa para o sucesso ou o fracasso do estabelecimento do estande em campo (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

Os testes de vigor devem diferir, com segurança, os lotes de alto e de baixo vigor, de maneira proporcional à emergência de plântulas em campo, destacando-se que os testes de vigor não foram criados para predizer qual será a porcentagem de emergência de plântulas após a sementeira. Conseqüentemente, a avaliação consistente de vigor envolve tanto a utilização de procedimentos bem definidos como a interpretação correta do significado dos resultados (MARCOS FILHO, 2011).

Segundo Matthews et al. (2011), os testes de vigor são baseados em conceitos diferentes, tais como a resistência ao stress, velocidade de germinação, integridade da membrana e desenvolvimento de plântulas.

Até o momento, não existe um teste universalmente aceito para avaliar o vigor de sementes de uma determinada espécie ou de um conjunto de espécies, procurando atingir objetivos pré-determinados. Dentre os testes disponíveis, podem ser destacados os utilizados rotineiramente nos laboratórios de análise de sementes: a avaliação do crescimento de plântulas, os testes de frio, envelhecimento acelerado, tetrazólio e condutividade elétrica (MARCOS FILHO, 2011).

Para a escolha de quais testes de vigor a se utilizar deve-se considerar aqueles métodos rápidos e eficientes que representem o potencial de emergência em condições de campo e que auxiliem principalmente na tomada de decisões quanto ao destino das sementes produzidas (BITTENCOURT et al., 2012).

O uso de uma metodologia adequada pode estimar o vigor, predizer o desempenho da semente no campo e a necessidade de descartar lotes, reduzindo os riscos e perdas e melhorar a concorrência no mercado. Nesta situação, existe uma necessidade crescente de métodos eficientes para avaliar a qualidade fisiológica de sementes e, assim, determinar quais as decisões tomadas em relação à coleta, processamento, armazenamento e comercialização da cultura (SANTORUM et al., 2013).

Porém, a escolha de um teste de vigor adequado se torna complexo devido às dificuldades encontradas e que vem sendo pesquisadas de maneira incessante. Pinto et al., (2014) destacaram como principais limitações de um teste de vigor o tempo gasto para realização e a subjetividade na avaliação.

A alternativa para reduzir o tempo gasto com a realização manual, bem como eliminação da subjetividade do teste, seria a automatização desse processo, pois além de rapidez fornece resultados mais precisos (MARCOS FILHO et al., 2009). De acordo com Dias et al. (2014), há um grande interesse no desenvolvimento de métodos e equipamentos que permitam uma avaliação rápida e automatizada de qualidade das sementes.

Neste caso, existem pesquisas na literatura que buscam métodos alternativos para avaliação automatizada de vigor de sementes. Sako et al. (2001) desenvolveram um sistema denominado Seed Vigor Imaging System – SVIS[®] para avaliar plântulas de alface, utilizando imagens digitalizadas. Recentemente, Dranski et al. (2013) aprimoraram um sistema acoplado a um analisador de gás infravermelho (IRGA), para avaliar o vigor de sementes de canola, que permite a quantificação de CO₂ emitido da amostra de sementes.

2.1 QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA

A soja é a leguminosa mais cultivada atualmente no mundo. No Brasil, é a commodity de maior importância no cenário agrícola, principalmente em virtude do volume produzido e exportado, 82 milhões de toneladas e 42 milhões de toneladas respectivamente (USDA, 2014). Dessa maneira, para obtenção de rendimentos satisfatórios a produção de sementes com qualidade é fundamental (BORNHOFEN et al., 2015).

A semente de soja, para ser considerada de alta qualidade, deve ter excelentes características fisiológicas e sanitárias, como altos níveis de vigor, germinação e sanidade, bem como garantia de pureza física e varietal. Estes fatores respondem pelo desempenho das sementes no campo, culminando com o estabelecimento da população de plantas requerida pela cultivar, aspecto fundamental que contribui para que sejam alcançados níveis altos de produtividade (FRANÇA NETO et al. 2010).

O período de viabilidade da semente depende tanto de características genéticas quanto de efeitos ambientais, durante as fases de desenvolvimento, colheita, processamento e armazenamento (GRIS et al., 2010).

A época de semeadura tem maior efeito na produção de sementes do que qualquer outra técnica cultural (KANDIL et al., 2012). Em termos econômicos, a prática de manejo que pode alterar de forma significativa a quantidade e qualidade do rendimento final, é a época de semeadura (BORNHOFEN et al., 2015).

No campo as principais causas de deterioração da semente estão relacionadas com estresses climáticos e nutricionais, associados com danos causados por insetos e microrganismos. Um dos fatores mais agravantes que afetam a qualidade de sementes de soja é a deterioração por umidade que ocorre após a maturidade fisiológica. (FRANÇA NETO et al., 2010).

De maneira geral, as sementes atingem a maturidade fisiológica com teores de umidade superiores a 30%, inviabilizando a sua colheita mecânica (CARVALHO E NAKAGAWA, 2012). Deste modo, recomenda-se, para produção de sementes de soja, a realização da colheita no momento mais próximo possível da maturidade fisiológica da cultura (BEZERRA et al., 2014).

Na época de pós-colheita, as sementes carecem de armazenamento em condições e embalagens adequadas, para a preservação da qualidade até o momento da semeadura. Em algumas regiões do Brasil, as condições ambientais são adversas para o armazenamento de

sementes, em razão de altas temperaturas que podem estar associadas com elevada umidade relativa do ar (LIMA et al., 2014).

O beneficiamento também é componente fundamental na pós-colheita, em qualquer programa de produção de sementes e tem, como objetivo, aprimorar a qualidade das sementes (JUVINO et al., 2014).

De acordo com Marcos Filho (2013), o embrião da semente de soja é protegido por um tegumento relativamente frágil, o eixo embrionário é superficial e suscetível a injúrias mecânicas provocadas por outros agentes externos demonstrando que a semente pode sofrer injúrias mecânicas durante as etapas do beneficiamento.

O controle de qualidade de sementes tem extrema importância, pois abrange todas as fases de produção: campo, colheita, secagem, beneficiamento, armazenamento e comercialização. Além disso, um sistema de controle de qualidade deve ser ágil, dinâmico e eficaz, visando assegurar que a semente comercializada tenha qualidade elevada, conforme a demanda do setor produtivo de soja. Em síntese, para se produzir uma semente de soja com alta qualidade, é indispensável o conhecimento e o investimento em tecnologias de produção (FRANÇA NETO et al., 2010).

2.2 ANÁLISE COMPUTADORIZADA DE IMAGENS DE PLÂNTULAS – SEED VIGOR IMAGING SYSTEM (SVIS[®])

A análise de sementes é considerada uma atividade dinâmica constantemente evoluída, caracterizada pelas melhorias contínuas do desenvolvimento de processos e padronização (NUNES et al., 2014). Atualmente, a análise de imagens de sementes e plântulas tem-se mostrado eficiente para a avaliação dos componentes fisiológicos e físicos de sementes, que influenciam na qualidade dos lotes (Silva et al., 2013).

Uma das primeiras tentativas para utilização da análise computadorizada foi no início da década de 90, onde se realizou a avaliação do comprimento de raiz primária de alface e cenoura por meio de análise de imagem (McCOMARC et al., 1990). Howarth e Stanwood (1993), avaliaram em sementes de alface e sorgo.

A utilização do sistema automatizado para avaliação do vigor de sementes e plântulas Seed Vigor Imaging System - SVIS[®] foi desenvolvido por Sako et. al. (2001) utilizando imagens digitalizadas de plântulas de alface. De acordo com Marcos Filho 2010, a utilização de plântulas de alface foi justificada por apresentar plântulas eretas, bem como hipocótilo e raiz bem definidos.

Na mesma época Geneve e Kester (2001), trabalharam com sementes de floríferas e concluíram que o uso do scanner constitui ferramenta importante para monitoramento da germinação.

Ainda trabalhando com sementes de alface, Kikuti e Marcos Filho (2012) avaliaram as características do sistema automatizado de análise de imagens (SVIS[®]) e concluíram que índice de comprimento de plântulas e comprimento da raiz primária forneceram resultados semelhantes aos testes comumente utilizados para esta espécie. Somando-se o fato de que o “software” proporciona rapidez dos resultados e tem interferência humana reduzida.

Dentro deste contexto, Marcos Filho et al. (2009) avaliaram o SVIS[®] na diferenciação de lotes de sementes de soja, os autores concluíram que o sistema é suficientemente sensível para determinar o vigor das sementes, sendo os resultados comparados ao teste utilizado com frequência e de modo eficiente em soja, o envelhecimento acelerado. De acordo com Wendt et al. (2014), o sistema SVIS[®] foi eficiente para identificar diferenças de vigor entre os lotes de sementes de soja avaliados.

Nesse sistema, o vigor é quantificado por meio de um índice calculado com base nos valores biométricos e germinativos de plântulas. O sistema foi adaptado com sucesso para outras espécies, como milho (OTONI; McDONALD, 2005), melão (MARCOS FILHO et al., 2006), soja (MARCOS FILHO et al., 2009), crotalária (SILVA et al., 2012), pepino (CHIQUITO et al., 2012), e a avaliação do efeito do condicionamento fisiológico em sementes de milho doce (GOMES JUNIOR et al., 2009) e mutamba (BRANCALION et al., 2010).

A Ohio Crop Improvement Association realizando análises com imagens computadorizadas de plântulas (SVIS[®]) em sementes de soja desenvolveu uma escala em que sementes de alto vigor originam índices de 800 a 1000 em plântulas com três dias de idade, enquanto plântulas de baixo vigor geram valores inferiores a 300 (MARCOS FILHO, 2010). Já a Ohio State University considera plântulas de soja com três dias de idade em vigor excepcional (800-1000), alto (600-799), bom (400-599), baixo (200-399) e grãos (<200).

A realização dessa pesquisa permite o desenvolvimento de escalas e índices específicos para cada espécie, com a utilização de metodologias coerentes, representa um avanço significativo na determinação de desempenho de plântulas, além de permitir a ampliação do conhecimento de áreas da fisiologia e de avaliação do potencial fisiológico das sementes.

O procedimento para avaliação do vigor de sementes por meio do SVIS[®] é simples e rápido. O tempo necessário para gerar um índice de vigor a partir de imagens de plântulas com três dias de idade é menor que o requerido para executar o teste manualmente (HOFFMASTER et al., 2005). Gomes Junior et al. (2014), verificaram a mesma eficiência para sementes de feijão.

De acordo com Gomes Junior et al. (2009), os resultados para uma amostra de 50 sementes podem ser obtidos de dois a três minutos. Outras vantagens desse sistema incluem a eliminação do erro humano, aumentando a confiabilidade dos dados para fins de comparação e a possibilidade de arquivamento das imagens para análise posterior (ALVARENGA et al., 2012). Essa metodologia tem sido utilizada rotineiramente por laboratórios de entidades certificadoras de sementes e de empresas produtoras nos Estados Unidos da América, particularmente no estado de Ohio, sendo considerado procedimento promissor para avaliação segura do vigor de sementes de várias espécies cultivadas McDonald et al. (2003).

Deste modo, a avaliação automatizada do crescimento de plântulas, reduzindo a subjetividade das análises baseadas na observação visual do analista, pode constituir-se em um avanço significativo para a padronização da metodologia, aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos (JULIÃO, 2014).

2.3 ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO DE CO₂

A aplicação de testes de vigor rápidos, objetivos e econômicos torna-se uma ferramenta fundamental para a avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes em um programa organizado de produção. Dentre as diferentes formas de verificação da qualidade fisiológica em sementes, o processo de respiração merece atenção, pela alta relação entre este fenômeno e a qualidade da semente (DODE et al., 2013).

Dentre os vários procedimentos utilizados na determinação do vigor, uma das alternativas é submeter às sementes à medição da atividade respiratória em condição de laboratório. A respiração é a oxidação completa de compostos de carbono a CO₂ e água, através de uma série de reações, usando oxigênio como acceptor final de elétrons, sendo a energia liberada e conservada na forma de ATP (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O processo de germinação de uma semente inicia-se com a embebição de água, seguida pelo desencadeamento de uma série de alterações metabólicas representadas pela hidrólise de compostos armazenados na semente (TAIZ; ZEIGER, 2009). Por meio da absorção de água ocorre a reidratação dos tecidos e por consequência o aumento da respiração

e de todas as suas outras atividades metabólicas, resultado no fornecimento de energia e nutrientes necessários para a retomada de crescimento do eixo embrionário (PEREIRA, 2012).

A respiração aeróbica é um processo biológico pelo qual compostos orgânicos reduzidos são mobilizados e oxidados de uma maneira controlada. Durante a respiração, energia livre é liberada e incorporada na forma de ATP, que pode ser facilmente utilizado para a manutenção e desenvolvimento da planta (WEITBRECHT et al., 2011).

A respiração é comumente expressa em termos de oxidação de açúcar de 6 carbonos: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 + 6 H_2O = 6 CO_2 + 12 H_2O$. Esta equação é oposta a equação usada para descrever o processo fotossintético, e representa uma reação duplo redox, onde a glucose é completamente oxidada em CO_2 , enquanto que o oxigênio serve como último receptor de elétron, sendo reduzido em água (MARCOS FILHO, 2005).

O teor de água na semente ou no ambiente de armazenamento, temperatura, permeabilidade das membranas, tensão de oxigênio, gás carbônico e luz, influenciam na velocidade respiratória da semente. A quantificação da taxa respiratória de lotes de sementes permite a obtenção de resultados rápidos sobre o vigor, com base na determinação da concentração de CO_2 . A diminuição da taxa respiratória é indicativo do avanço da deterioração, culminando no colapso metabólico, visto que a restrição ao acesso à energia química oriunda da síntese de ATP interfere em todos os processos vitais da semente (MARCOS FILHO, 2005).

É evidente o potencial efeito de aceleração da respiração e outros processos oxidativos na deterioração das sementes. No entanto, não há informação suficiente na literatura para estabelecer a relação entre as taxas respiratórias e de deterioração, assim como a interferência do grau de hidratação e da temperatura sobre estes processos. O estabelecimento de relações entre o estado energético da água, a intensidade da temperatura e taxa de respiração, bem como a deterioração da semente pode trazer contribuição substancial para a semente de conservação e, portanto, a conservação de germoplasma (LAMARCA; BARBEDO, 2012).

A respiração envolve a perda de matéria seca, no entanto esta determinação requer grandes quantidades de tecidos vivos e geralmente envolve a sua destruição. Os métodos baseados em trocas gasosas requerem menor quantidade de matéria seca e que não destroem as sementes. Dentre os métodos utilizados podem ser físicos como o analisador de gás infravermelho (IRGA) ou físico-químico por titulometria (CRISPIM et. al., 1994). Além disso, podem consistir na determinação de O_2 consumido ou de CO_2 liberado.

Mendes et al. (2009), determinaram que a atividade respiratória utilizando o aparelho de Pettenkofer foi eficiente para diferenciar lotes com germinação semelhante e diferenças nos níveis de vigor em sementes de soja e milho. Esse método é comumente utilizado em pesquisas para avaliar a respiração de sementes.

Atualmente, Dranski et al. (2013) desenvolveram um sistema acoplado ao IRGA e concluíram que o método de quantificação de CO₂, foi eficiente para classificar lotes de sementes de canola em 4 classes de vigor.

Dessa maneira, a quantificação da concentração de CO₂, resultante da respiração, pode ser um indicativo de vigor. As sementes com maior potencial fisiológico são capazes de minimizarem a deterioração das membranas celulares gerando menos CO₂ em comparação a sementes com menor potencial fisiológico (BUCKLEY; HUANG, 2011).

Portanto, a determinação da atividade respiratória de sementes de soja pelo método da quantificação de CO₂, por meio de um analisador de gás infravermelho (IRGA), e a correlação dos resultados com outros testes de vigor pode-se constituir em uma alternativa promissora para a adoção de mais um teste rápido de vigor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações para caracterização dos lotes e o teste de concentração de CO₂ foram realizados no Laboratório de Fisiologia e Tecnologia de Sementes e Mudas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Marechal Cândido Rondon. A emergência de plântulas em campo foi realizada na área experimental da UNIOESTE, em Marechal Cândido Rondon-PR, com altitude média de 420 metros, latitude 24°33'40''S e longitude 54°04'00''W. As análises computadorizadas de imagens de plântulas foram executadas no Laboratório de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba-SP, constituindo seis lotes de sementes da cultivar 2737RR, produzidas na safra 2012/2013 em Cascavel – PR.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOTES

3.1.1 Grau de umidade

Determinado pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 h, utilizando duas repetições de 50 g de sementes para cada lote (BRASIL, 2009), com resultados expressos em porcentagem na base úmida.

3.1.2 Teste de germinação

Conduzido com quatro repetições de 100 sementes por lote, em rolos de papel-toalha umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidos em germinador com temperatura constante de 25 °C. A contagem final ocorreu no oitavo dia após a semeadura (BRASIL, 2009), e os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais.

3.2 TESTES DE VIGOR

3.2.1 Teste de tetrazólio

Foi utilizada a metodologia descrita por França Neto et al. (1998). Foram retiradas 100 sementes de cada amostra, pré-condicionadas em papel de germinação umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa, durante 24 horas, em temperatura ambiente. Em seguida, as sementes foram acondicionadas em copos plásticos de 50 mL, sendo adicionada solução de 2,3,5-trifenil-cloreto-de-tetrazólio, na concentração de 0,075%, e

acomodadas no escuro, em estufa, com temperatura de 40 °C, por três horas, sendo posteriormente lavadas em água corrente e analisadas individualmente.

3.2.2 Envelhecimento acelerado

Foi conduzido pelo método de caixas plásticas de germinação (AOSA, 2009). As sementes de cada lote foram distribuídas sobre a tela inox interna a caixa em camada única, de maneira a cobri-la de forma completa e uniforme, e no fundo da caixa colocou-se 40 mL de água destilada. As caixas foram tampadas e mantidas em BOD regulada a 42 °C ± 2 °C durante 96 horas e posteriormente foi realizado o teste de germinação segundo o item 3.1.2.

3.2.3 Condutividade elétrica

Utilizaram-se quatro repetições de 50 sementes de cada lote. As sementes foram pesadas e acondicionadas em copos descartáveis com 75 mL de água deionizada, mantidas em BOD a uma temperatura de 25 °C por um período de 24 horas. Em seguida foram realizadas as leituras da condutividade em um condutivímetro e os resultados expressos em $\mu\text{S cm g}^{-1}$ de sementes (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

3.2.4 Análise computadorizada de imagens de plântulas – Seed vigor imaging system (SVIS[®])

As plântulas foram obtidas de quatro repetições de 25 sementes para cada lote, colocadas para germinar em duas fileiras situadas no terço superior do papel-toalha, a 25 °C, durante três dias. Após esse período, as imagens foram captadas em escâner HP Scanjet G2410, disposto de maneira invertida no interior de uma caixa de alumínio (60,0 x 50,0 x 12,0 cm) e operado pelo software Photosmart[®], com resolução de 100 dpi. As plântulas de cada repetição foram transferidas do papel-toalha para uma folha de cartolina de coloração preta e colocada sobre a plataforma interna da caixa metálica.

As imagens digitalizadas foram analisadas pelo software Seed Vigor Imaging System (SVIS[®]), sendo obtido o valor médio do índice de vigor para cada lote, através da equação proposta por Sako et al., 2001.

$$IV = \text{PESO}_C \times C + \text{PESO}_U \times U$$

Sendo,

C = crescimento (índice de 0 a 1000),

U = uniformidade de crescimento (índice de 0 a 1000),

IV = índice de vigor de 0 a 1000

Para a determinação do vigor foi utilizada a classificação do índice de vigor proposta pela Ohio State University, que considera plântulas com três dias de idade em vigor excepcional (800-1000), alto (600-799), bom (400-599), baixo (200-399) e grãos (<200).

3.2.5 Análise de concentração de CO₂

Obtido através do pico de concentração de CO₂ liberado durante a respiração com o auxílio de um analisador de gases (LI-COR 6400 XT). No preparo da amostra, quatro repetições de 25 sementes para cada lote foram acondicionadas em frascos de penicilina de 60 mL e tampa para ejetáveis com volume de água que possibilitasse atingir um nível de umidade de 30% (w/w). Os recipientes foram incubados em câmaras tipo BOD a 15 °C. A concentração de topo foi obtida nos intervalos: 1:00; 3:00; 6:00; 9:00 e 11:00 horas de incubação, para obtenção do período de tempo que possibilitasse a máxima segregação dos lotes em função da evolução da hidratação. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO₂ por grama de semente (DRANSKI et al. 2013).

3.2.6 Emergência de plântulas em campo

Quatro repetições de 100 sementes por lote foram semeadas em sulcos de 5,0 m de comprimento e 3,0 cm de profundidade, com espaçamento entre sulcos de 30 cm, em condições de campo, sem irrigação, no dia 23 de novembro de 2013. A porcentagem de plântulas normais emergidas foi computada no décimo quinto dia após a semeadura (NAKAGAWA, 1994). As leituras foram realizadas diariamente para o cálculo do índice de velocidade de emergência (IVE), computando o número de plantas emergidas no dia (MAGUIRE, 1962).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para as análises laboratoriais foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições. No teste de concentração de CO₂ foi adotado o arranjo fatorial (6 x 5), compreendendo os seis lotes e os cinco períodos de incubação. Para a emergência de plântulas em campo o delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições para cada lote.

Os dados foram submetidos ao teste de Lilliefors para verificar a normalidade de distribuição dos resíduos e posteriormente submetidos à análise da variância. As médias

foram agrupadas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott, com o auxílio do programa estatístico SAEG (2007).

Com base nos resultados obtidos dos testes de vigor e de estabelecimento em campo, calculou-se a matriz de correlações simples entre as variáveis. Adicionalmente efetuou-se uma análise de agrupamento com base nos resultados dos testes de vigor. Para tanto, as médias de dissemelhança entre os testes foram calculadas pela distância euclidiana média e o método de agregação de classes foi pelo método das centróides.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados do teste de germinação não foram identificadas diferenças de viabilidade entre os lotes (Tabela 1). A semelhança na porcentagem de germinação é fundamental para o estudo comparativo entre lotes com diferentes níveis de vigor, já que o processo de deterioração inicia com a redução de vários atributos de desempenho e vigor da semente, resultando, por fim, na perda da capacidade germinativa das sementes (MARTINS et al., 2009). Observa-se que os 6 lotes estão dentro dos padrões de germinação para comercialização de sementes básica (Brasil, 2013).

Tabela 1. Porcentagem de germinação (G) e grau de umidade (GU) de seis lotes de soja CD2737RR.

Lote	G (%)	GU (%)
1	82 ± 7,1*	9,7 ± 0,05
2	80 ± 5,7	8,9 ± 0,07
3	75 ± 5,9	9,4 ± 0,07
4	80 ± 7,3	9,2 ± 0,09
5	78 ± 6,3	9,6 ± 0,04
6	74 ± 4,2	9,6 ± 0,09

*Desvio padrão da média.

O grau de umidade entre os lotes de sementes variou de 8,9% a 9,7% (Tabela 1), externando uniformidade quanto à manutenção do estado seco, visto que a diferença entre lotes com maior e menor teor de água foi menor que 1%. De acordo com Vieira et al. (2015), o intervalo aceito para garantia é de no máximo dois pontos percentuais. A uniformidade do grau de umidade é importante para obtenção de resultados consistentes na avaliação do potencial fisiológico dos lotes (TEKRONY, 2003).

A comparação da porcentagem de plântulas normais após o envelhecimento acelerado (Tabela 2), não resultou em diferenças significativas entre lotes, porém, ao compararmos os resultados de envelhecimento acelerado (Tabela 2) com os resultados de germinação (Tabela 1), pode-se perceber que apenas o lote 3 manteve taxa semelhante de plântulas normais ao obtido no teste de germinação, apresentando maior tolerância quando submetido a uma situação adversa. Sementes com menor potencial fisiológico deterioram-se mais rapidamente, com reflexos na germinação após o período de envelhecimento acelerado (LIMA et al., 2015).

Tabela 2. Envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio-vigor (TZv), condutividade elétrica (CE), concentração (CO₂) e seed vigor imaging system-índice de vigor (SVISiv) de seis lotes de soja CD 2737RR.

Lote	EA	TZv	CE	CO ₂	SVISiv
	----- (%) -----	-----	μS cm g ⁻¹	μmol g ⁻¹	
1	55,5 a ^{**}	61,0 b	170,91 a	4271,71 a	677 a
2	63,5 a ^{**}	60,5 b	165,49 a	4415,69 a	666 a
3	70,5 a	70,0 a	138,56 b	3560,60 c	626 a
4	65,5 a ^{**}	69,5 a	149,58 b	3536,41 c	664 a
5	60,7 a ^{**}	62,0 b	160,21 a	4175,77 a	651 a
6	59,7 a ^{**}	64,0 b	156,78 a	3927,17 b	597 a
CV (%)	11,01	2,90	5,61	4,62	10,77

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.**Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Na avaliação do vigor das sementes, mediante o envelhecimento acelerado e a análise computadorizada de imagens de plântulas, SVIS[®] (Tabela 2), os resultados obtidos para os seis lotes não permitiram a diferenciação. Observou-se que o teste que avaliou o crescimento de plântulas apresentou o mesmo comportamento ao envelhecimento acelerado, não mostrando sensibilidade suficiente para diferenciar o vigor dos 6 lotes e externando os maiores coeficientes de variação (Tabela 2).

Esses resultados se assemelham aos resultados encontrados por Alvarenga et al. (2012), onde a análise computadorizada de imagens de plântulas SVIS[®] apresentou sensibilidade comparável ao teste de envelhecimento acelerado tradicional. Marcos Filho et al. (2009), também encontraram resultados semelhantes ao avaliarem o vigor de sementes de soja.

Os valores dos índices de vigor do teste seed vigor imaging system (SVIS[®]) obtidos para os 6 lotes foram entre 597 a 677 (Tabela 2) sendo classificados como de médio a alto vigor. Esses resultados podem ser explicados pela estreita diferença entre a viabilidade das

sementes, uma vez que a análise SVIS[®] mostrou-se sensível na determinação do vigor de sementes de soja com maiores variações entre lotes (SEKHARAN, 2005; MARCOS FILHO et al., 2009). Sekharan (2005), trabalhando com lotes de sementes de soja envelhecidas artificialmente, variando entre 83% e 95% de germinação, constatou a eficiência de análises SVIS[®] para detectar diferenças no potencial fisiológico. Assim, o parâmetro índice de vigor pode ser útil quando as variações entre lotes forem mais acentuadas que as verificadas no presente trabalho.

Diante os resultados acima apresentados verificou-se que, dentre todos os testes de vigor conduzidos, o teste de concentração de CO₂ foi o único que classificou os lotes em três níveis de vigor, mostrando maior sensibilidade para avaliação do vigor para lotes com viabilidade semelhante. Também foi possível observar que os lotes 3 e 4 apresentaram menor atividade respiratória em comparação aos demais lotes, evidenciando que os lotes com resultados superiores nos demais testes de vigor liberaram menos CO₂.

Esses resultados corroboram com o estudo de Crispim et al. (1994), onde as sementes mais deterioradas foram as que apresentaram maior taxa de respiração, medida em mg de CO₂ por g de matéria seca, quando comparadas com lotes mais vigorosos. Dranski et al. (2013), encontraram comportamento semelhante, concluindo que a concentração de CO₂ foi inversamente proporcional à porcentagem de plântulas normais, agrupando os lotes de canola em quatro classes de vigor.

Tendo em vista que a análise de variância é uma análise univariada, o que dificulta o agrupamento dos lotes, foi realizado um dendograma utilizando todos os resultados dos testes de vigor de laboratório a fim de possibilitar a categorização dos lotes de sementes de soja (Figura 1).

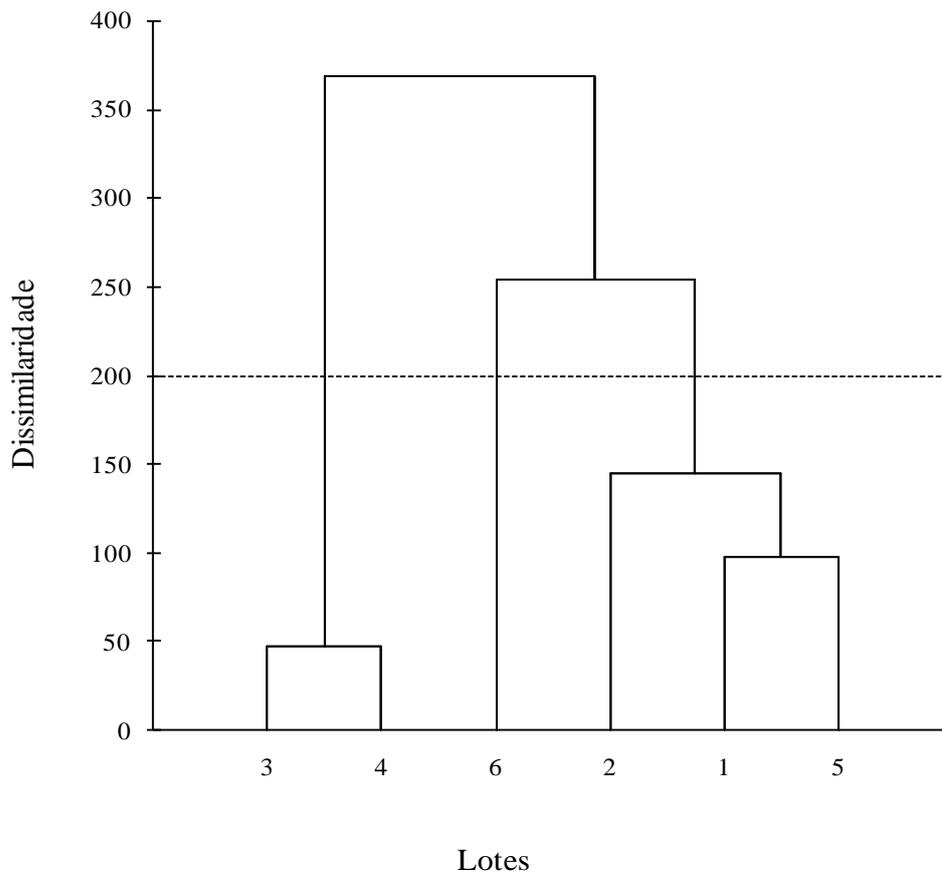


Figura 1. Dendrograma da análise de agrupamento apresentando o nível de dissimilaridade entre os testes de vigor em soja CD 3727RR.

Por meio do dendrograma de análise de agrupamento pode-se observar que ao desdobrar as centróides, na parte superior do dendrograma, encontram-se 2 grupos. O primeiro grupo é formado pelos lotes 3 e 4 e o segundo grupo com os demais lotes. Esses resultados se assemelham com os resultados encontrados nos testes de vigor de tetrazólio, condutividade elétrica e concentração de CO₂ (Tabela 2), que evidenciaram os lote 3 e 4 de maior vigor. A contribuição das variáveis na composição dos grupos foi de 20% para conteúdo de CO₂ e envelhecimento acelerado; 6,7% para os resultados de vigor pelo teste tetrazólio e 26,7% para a condutividade elétrica e SVIS[®].

Com relação ao estabelecimento em campo (Tabela 3), observou-se que o lote 4 externou maior porcentagem de plântulas emergidas, com maior velocidade no estabelecimento em comparação ao restante dos lotes. Já os lotes 2, 3, 5 e 6 apresentaram velocidade de emergência superior ao lote 1 e inferior ao lote 4. Para a emergência em campo

os lotes 3 e 4 foram superiores aos demais lotes com semelhança aos resultados encontrados nos testes de TZv, CE (Tabela 2).

Tabela 3. Emergência em campo (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) de seis lotes de soja 2737 RR.

Lote	EC	IVE
	%	
1	57,0 b*	8,19 c
2	60,7 b	9,62 b
3	69,5 a	10,71 b
4	67,7 a	12,15 a
5	64,2 b	9,98 b
6	63,0 b	9,87 b
CV (%)	7,16	14,34

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

Os lotes 3 e 4 foram estatisticamente mais vigorosos que os lotes 1, 2, 5 e 6 mediante os testes de vigor de tetrazólio, condutividade elétrica e concentração de CO₂ (Tabela 2), e por meio do dendograma (Figura 1), corroborando com os resultados encontrados na emergência em campo na Tabela 3. Essa relação é importante, visto que a eficiência dos testes para avaliação do potencial fisiológico dos lotes de sementes depende dos resultados de emergência de plântulas em campo (TORRES et al, 2012).

Esses resultados corroboram com os resultados obtidos em estudos anteriores, os quais demonstram que os testes de condutividade elétrica e envelhecimento acelerado são adequados para análise de vigor de sementes de soja (Vieira et al., 2003; Silva et al., 2008; Carvalho et al., 2009).

Vale ressaltar que o teste de germinação (Tabela 1) apresentou valores bem superiores à emergência de plântulas em campo (Tabela 3), confirmando as limitações do teste de germinação na determinação do potencial fisiológico dos lotes de sementes de soja. A capacidade de emergência em campo é a característica mais importante da qualidade das sementes. O teste de germinação refere-se ao potencial máximo de um lote de sementes em

particular nas melhores condições. Para El Abady et al. (2014), o teste de germinação não foi um bom indicador para a porcentagem real de emergência em campo.

Os valores baixos de emergência em campo observados na Tabela 3 talvez sejam relacionados pelas condições adversas encontradas durante a condução da pesquisa em campo (Figura 1).

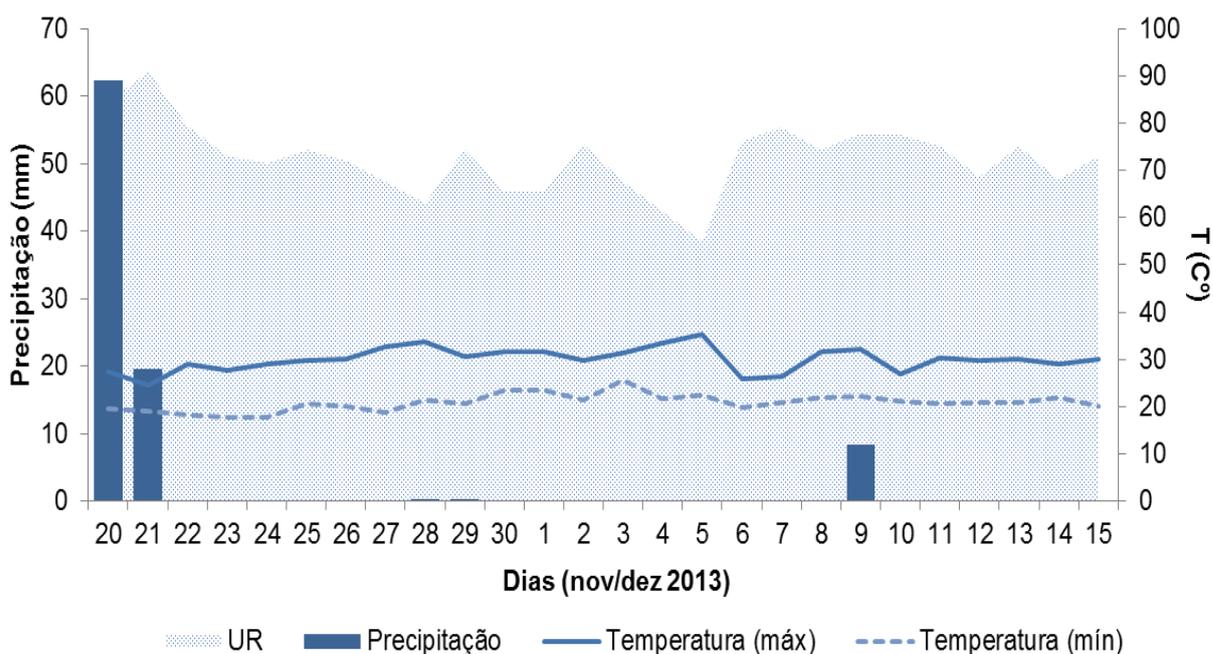


Figura 2. Precipitação pluviométrica diária acumulada (mm), médias diárias da temperatura mínima e máxima (°C) e umidade relativa do ar (%) na região de Marechal Cândido Rondon, PR.

Lotes de sementes com alta germinação no laboratório podem ter baixa emergência de plântulas dependendo das condições desfavoráveis no campo. A discrepância entre os resultados de germinação e emergência em campo pode ser explicada pelas condições de alta precipitação durante o período de semeadura havendo um decréscimo conforme as plântulas emergiam (Figura 1).

Os testes de vigor que se correlacionaram significativamente com a emergência de plântulas em campo foram: envelhecimento acelerado, tetrazólio, condutividade elétrica e análise de CO₂ (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficiente de correlação simples entre testes de vigor, envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio (TZ), condutividade elétrica (CE), análise de concentração de CO₂ (CO2) e seed vigor imaging system (SVIS), com o desempenho em campo, emergência em campo (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE), de sementes de soja CD 3727RR.

	EC	IVE
EA	0,88**	0,74*
TZ	0,89**	0,81*
CE	-0,96**	-0,76*
CO2	-0,86*	-0,80*
SVIS	-0,33 ^{ns}	-0,08 ^{ns}

*, **, ^{ns} Significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste t.

O teste de envelhecimento acelerado que, por sua vez, não tinha apresentado diferença significativa (Tabela 2), na análise de correlação foi detectado significância quando relacionado com a emergência em campo. Isso pode ter acontecido devido aos dois testes serem conduzidos em situações com maior adversidade, gerando, conseqüentemente, algum estresse a semente e dessa maneira, chegando o mais próximo a situação real de campo.

Por outro lado, ao analisar a correlação de campo com o SVIS[®] (Tabela 4), podemos observar que o resultado não foi significativo. Esse teste é conduzido em condições ideais e pode não expressar o mesmo comportamento do campo, mostrando-se insuficiente para diferenciar o vigor dos lotes estudados. No entanto, a comparação de testes de vigor de laboratório com a porcentagem de emergência em campo não é tarefa simples, dado que, não foi desenvolvida uma metodologia padronizada e totalmente eficiente.

De acordo com Marcos Filho et al. (1984) é desejável a obtenção do maior número possível de informações que permitam, no mínimo, identificar lotes que possuam maiores possibilidades de apresentar melhor desempenho em campo, ou melhor, avaliar corretamente o potencial de cada lote.

Barbieri et al. (2013), encontraram resultados semelhantes com sementes de soja, concluindo que os testes de vigor baseados em desempenho de plântulas não estratificaram adequadamente os lotes de sementes com resultados diferentes aos obtidos na emergência de plântulas em campo. Isso demonstra que assim como o teste de germinação, os mesmos apresentam limitações para o ranqueamento de lotes, necessitando ser complementados com outros testes de vigor.

A atividade respiratória se correlacionou com o teste de emergência em campo, ou seja, a respiração foi inversamente proporcional ao estabelecimento de plântulas em campo (Tabela 4). Esses resultados podem estar associados ao processo de difusão da água, pois em sementes de menor vigor há maior desorganização nas membranas biológicas, fenômeno este detectável no teste da condutividade elétrica, cuja maior lixiviação de solutos é resultado da perda de compartimentalização celular das sementes dos lotes de menor vigor, gerando conseqüentemente, uma maior atividade respiratória. Nas sementes de menor vigor, há desorganização de membranas e, com isso, ocorre maior lixiviação, gerando acentuada atividade respiratória (DODE et al., 2013).

No entanto, Mendes et al. (2009) e Aumonde et al. (2012), encontraram resultados inversos aos mencionados anteriormente. Ao estudar a atividade respiratória de sementes de soja, Mendes et al. (2009), concluíram que sementes mais vigorosas liberam mais CO₂. A atividade e a integridade das mitocôndrias de embriões viáveis aumenta desde o início da embebição, o que contribui para uma produção mais eficiente de ATP, refletindo o elevado consumo de oxigênio e liberação de CO₂ (BEWLEY; BLACK, 1994). Esse estudo confirma os resultados encontrados por Aumonde et al. (2012), que ao estudarem a respiração de sementes de feijão-miúdo observaram que quanto maior os resultados de viabilidade e vigor, maior a atividade respiratória das sementes.

Os resultados da literatura expostos acima demonstram que cada espécie responde de maneira diferente ao tempo de leitura para quantificação de CO₂. Sendo assim, fornecendo espaço para novas pesquisas com espécies ainda não estudadas e de interesse econômico, visto que a avaliação da respiração de sementes, embora seja de alto custo inicial, é um teste rápido para avaliação do vigor de sementes.

Analisando os resultados encontrados na Tabela 4, pode-se observar que o teste de condutividade elétrica foi altamente significativo com o teste de emergência em campo. Sendo assim, além de ser rápido e de fácil execução, o teste de condutividade elétrica foi eficiente em classificar lotes em diferentes níveis de vigor, sendo uma ferramenta adequada em casos onde é necessária uma tomada de decisão rápida. Esse resultado está de acordo com a Association of Official Seed Analysts (AOSA, 2009), que sugerem testes baseados na condutividade elétrica para avaliar a qualidade de sementes de soja.

A interpretação de testes de vigor geralmente depende de decisões tomadas pelo analista, considerando critérios pré-estabelecidos. No entanto, pode apresentar limitações, destacando-se a variação de resultados entre analistas e laboratórios, face à possível

subjetividade da interpretação, como no caso do teste tetrazólio. Ao mesmo tempo, vários testes consomem período de tempo considerado excessivo para a obtenção dos resultados. Conseqüentemente, a automatização desses procedimentos, pode contribuir significativamente para aprimorar a precisão de resultados, além da obtenção mais rápida da informação. Desse modo, a análise de CO₂ apresentou correlação significativa com a emergência em campo podendo ser uma alternativa para avaliar o vigor de lotes de semente de soja.

5 CONCLUSÕES

O desempenho em campo de sementes de soja possui aderência com o obtido pelos testes de tetrazólio, condutividade elétrica e análise de concentração de CO₂.

O Seed Vigor Imaging System - SVIS não foi sensível para determinar o desempenho de plântulas em campo dos seis lotes da cultivar CD 2737RR.

O teste de condutividade elétrica foi altamente significativo com o teste de emergência em campo, além de ser rápido e de fácil execução.

A análise de CO₂ apresentou correlação significativa com a emergência em campo, podendo ser uma alternativa automatizada para avaliar o vigor e aprimorar a precisão dos resultados de lotes de semente de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R.O.; MARCOS-FILHO, J.; GOMES JUNIOR, F.G. Avaliação do vigor de sementes de milho superdoce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.3, p.488-494, 2012.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 2009, 105p.
- AUMONDE, T.Z.; MARINI, P.; MORAES, D.M.; MAIA, M.S.; PEDÓ, T.; TILLMANN, M.A.A.; VILLELA, F.A. Classificação do vigor de sementes de feijão-miúdo pela atividade respiratória. **Interciência**, v.37, n.1, p.55-58, 2012.
- BARBIERI, A.P.P.; MATTIONI, N.M.; HAESBAERT, F.M.; ANDRADE, F.F.; CABRERA, I.C.; MERTZ, L.M. Teste de condutividade elétrica individual em sementes de soja e a relação com a emergência de plântulas a campo. **Interciência**, v.38, n.4, p.310-315, 2013.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York: Plenum, 1994. 445p.
- BEZERRA, A.R.G.; SEDIYAMA, T.; NOBRE, D.A.C.; FERREIRA, L.V.; SILVA, F.C.S.; ROSA, D.P. Efeito da dessecação com etefão na produção e qualidade da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.37, n.3, p. 312-319, 2014.
- BITTENCOURT, S.R.M.; GRZYBOWSKI, C.R.S.; PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R.D. Metodologia alternativa para a condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, v.42, n.8, p.1360-1365, 2012.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; GALVAN, D.; FLORES, MA.F. Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.1, p.46-55, 2015.
- BRANCALION, P.H.S.; TAY, D.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; RODRIGUES, R.R.; MARCOS FILHO, J. Priming of pioneer tree *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) seeds evaluated by an automated computer image analysis. **Scientia Agricola**, v.67, n.1, p.274-279, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 45 de 17 de setembro de 2013**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes. Diário Oficial da União, 18 de setembro de 2013, Seção 1, p.16.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009, 365p.
- BUCKLEY, W.T.; HUANG, J. An ethanol-based seed vigour assay for canola. **Seed Science and Technology**, v.39, n.2, p.510-526, 2011.
- CARVALHO, L.F.; SEDIYAMA, C.S.; REIS, M.S.; DIAS, D.C.F.S.; MOREIRA, M.A. Influência da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica

para avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.1, p.9-17, 2009.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ª ed. Jaboticabal, Funep, 2012, 590 p.

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**, n.34, v.1, p.255-263, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 2014. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 19 de janeiro de 2015.

CRISPIN, K. E. Determinação da taxa respiração em sementes de soja pelo método de titulação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.10, p.1517-1521, 1994.

DIAS, M.A.; DIAS, D.C.F.S.; GOMES JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. Morphological changes and quality of papaya seeds as correlated to their location within fruit and ripening stages. **Idesia**, v.32, n.1, p.1-8, 2014.

DODE, J.S.; Meneghello, G.E.; TIMM, F.C.; MORAES, D.M.; PESKE, S.T. Teste de respiração em sementes de soja para avaliação da qualidade fisiológica. **Ciência Rural**, v.43, n.2, p.193-198, 2013.

DRANSKI, J.A.L.; JUNIOR, A.S.P.; HERZOG, N.F.M.; MALAVASI, U.C., MALAVASI, M.M.; GUIMARÃES, V.F. Vigor of canola seeds through quantification of CO₂ emission. **Ciência e Agrotecnologia**, v.37, n.3, p.229-236, 2013.

EL ABADY, M.I.; SEADH, S.E.; EL EMAM, A.A.M. Use of some Seed Laboratory Tests During Storage to Predict Field Emergence of Maize. **Research Journal of Seed Science**, v.7, n.1, p.39-51, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Statistical databases: agriculture**. 2015. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 14 de abril de 2015.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. COSTA, N.P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1998. 72p.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, v.20, n.1-2, p.37-38, 2010.

GENEVE, R.L.; KESTER, S.T. Evaluation of seedling size following germination using computer-aided analysis of digital images from a flat-bed scanner. **Hort Science**, v.36, n.5, p.1117-1120, 2001.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; BAKHSHY, J.; RAEY, Y.; HOSSAINZADEH-MAHOOTCHY, A. Seed vigor and field performance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) Cultivars. **Notulae Botanicae Hortiagrobotanici**, v.38, n.3, p.146-150, 2010.

GOMES JUNIOR, F.G.; CHAMMA, H.M.C.P.; CICERO, S.M. Automated image analysis of seedlings for vigor evaluation of common bean seeds. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.36, n.2, p.195-200, 2014.

GOMES JUNIOR, F.G.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; MCDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. Evaluation of priming effects on sweet corn seeds by SVIS. **Seed Technology**, v.31, n.1, p.95-100, 2009.

GRIS, C.F.; VON PINHO, E.V.R.; ANDRADE, T.; BALDONI, A.; CARVALHO, M.L.M. Qualidade fisiológica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênica RR submetidas a diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.374-381. 2010.

HOFFMASTER, A.F.; XU, L.; FUJIMURA, K.; MCDONALD, M.B.; BENNETT, M.A.; EVANS, A.F. The Ohio State University seed vigor imaging system (SVIS) for soybean and corn seedlings. **Seed Technology**, v.27, n.1, p.7-24, 2005.

HOFFMASTER, A.L.; FUJIMURA, K.; MCDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. An automated system for vigor testing three-day old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, v.31, n.3, p.701-713, 2003.

HOWARTH, M.S.; STANWOOD, P.C. Measurement of seedling growth rate by machine vision. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**, v.36, n.3, p.959-963, 1993.

JESUS, V.A.M.; ARAUJO, V.V.; MARTÍNEZ, P.A.H.; ALVARENGA, E.M.; DIAS, D.C.F.S. Immersion time in toxic solution for vigor evaluation of bean seeds. **Journal Seed Science**, v.36, n.1, p.108-113, 2014.

JULIÃO, A. L. K. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho por meio da análise de imagem e testes de germinação e vigor**. Trabalho de Conclusão de Curso Agronomia – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2014. 45p.

JUVINO, A.N.K.; RESENDE, O.; COSTA, L.M.; SALES, J.F. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.844-850, 2014.

KANDIL, A.A.; SHARIEF, A.E; MORSY, A.R.; MANAR EL SAYED, A.I. Performance of some promising genotypes of soybean under different planting dates using biplots analysis. **Journal of Basic and Applied Sciences**, v.8, n.2, p.379-385, 2012.

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

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

LAMARCA, E.V.; BARBEDO, C.J. Short storability of *Caesalpinia echinata* Lam. seeds as a consequence of oxidative processes. **Hoehnea**, v.39, p.577-586, 2012.

LIMA, D.C.; DUTRA, A.S.; PONTES, F.M.; BEZERRA, F.T.C. Storage of sunflower seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.1, p.361-369, 2014.

LIMA, J.J.P.; FREITAS, M.N.; GUIMARÃES, R.M.; VIEIRA, A.R.; ÁVILA, M.A.B. Accelerated aging and electrical conductivity tests in crambe seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v.39, n.1, pp.7-14, 2015.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

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

MARCOS FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo Abrates**, v.23, n.1, p.21-23, 2013.

MARCOS FILHO, J. Sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas (SVIS) para avaliação do vigor de sementes. **Informativo Abrates**, v.20, n.3, p.40- 44, 2010.

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

MARCOS FILHO, J.; BENNETT, M.A.; MCDONALD, M.B.; EVANS, A.F.; GRASSBAUGH, E.M. Assessment of melon seed vigour by an automated computer imaging system compared to traditional procedures. **Seed Science and Technology**, v.34, n.2, p.485-497, 2006.

MARCOS FILHO, J.; PESCARIN, H.M.C.; KOMATSU, Y.H.; DEMÊTRIO, C.G.B.; FANCELLI, A.L. Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e suas relações com a emergência das plântulas no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.5, p.605-613, 1984.

MARTINS, C.C.; NAKAGAWA, J.; BOVI, M.L. A. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de açaí. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 231-235, 2009.

MATTHEWS, S.; BELTRAMI, E.; EL KHADEM, O.R.; KHAJEH HOSSEINI, M.; NASEHZADEH, M.; URSO, E.G. Evidence that time for repair during early germination leads to vigour differences in maize. **Seed Science and Technology**, v.39, n.2, p.501-509, 2011.

MCCORMAC, A.C.; KEFFE, P.D.; DRAPER, R.S. Automated vigour testing of field vegetables using image analysis. **Seed Science and Technology**, v.18, n.1, p.103-112, 1990.

MCDONALD, M.B.; FUJIKURA, K; SAKO, Y; EVANS, A.F.; BENNETT, M.A. Computer imaging to improve seed quality determinations. In: Digital imaging and spectral techniques: application to precision agriculture and crop physiology. ASA **Special Publication**, n.66, p.15-27, 2003.

MENDES, C.R.; LIMA, M.G.S.; MORAES, D.M.; LOPES, N.F. Respiratory activity for the differentiation of vigor on soybean seeds lots. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.171-176, 2009.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas**. In: Vieira, R. D.; Carvalho, N. M. (Ed.). Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.

NUNES, R.T.C.; UBIRATAN, O.S.; OTONIEL, M.M.; CAÍQUE, M.S.L. Análise de imagens na avaliação da qualidade fisiológica de sementes. **Revista Verde**, v.9, n.5, p.84-90, 2014.

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

PEREIRA, E.M. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de pimenta e pimentão por meio da atividade respiratória**. 2012. 69p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PERES, W.L.R. **Testes de vigor em sementes de milho**. 2010. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, 2010.

PINTO, C.A.G.; CARVALHO, M.L.M.; ANDRADE, D.B.; LEITE, E.R.; CHALFOUNS, I. Image analysis in the evaluation of the physiological potential of maize seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.2, p.319-328, 2015.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAKO, Y.; MCDONALD, M.B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A.F.; BENNET, M.A. A system of automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, v.29, n.3, p.625-636, 2001.

SANTORUM, M.; NÓBREGA, L.H.P.; SOUZA, E.G.; SANTOS, D.; BOLLER, W.; MAULI, M.M. Comparison of tests for the analysis of vigor and viability in soybean seeds and their relationship to field emergence. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.1, p. 83-92, 2013.

SEKHARAN, S. **Aged soybean seeds - their physiology and vigor assessment**. 2006. 180 f. Tese (Ph.D) - The Ohio State University, Columbus, 2005.

SILVA C.B.; LOPES, M.M.; MARCOS FILHO J; VIEIRA, R.D. Automated system of seedling image analysis (SVIS) and electrical conductivity to assess sun hemp seed vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, n.34, v.1, p.55-60, 2012.

SILVA, M.A.D., VIEIRA, R.D., SANTOS, J.M. Influência do envelhecimento acelerado na anatomia da testa de sementes de soja, cv, Monsoy 8400. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p. 91-99, 2008

SILVA, V.N.; CÍCERO, S.M. Image seedling analysis to evaluate tomato seed physiological potential. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.2, p.327-334, 2014.

SILVA, V.N.; SARMENTO, M.B.; SILVEIRA, A.C.; SILVA, C.S.; CICERO, S.M. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.4, p.1158-1169, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820p.

TEKRONY, D.M. Precision is an essential component in seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, v.31, n.2, p.435-447, 2003.

TORRES, S.B.; DANTAS, A.H.; PEREIRA, M.F.S.; BENEDITO, C.P.; SILVA, F.H.A. Deterioração controlada em sementes de coentro. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.2, p. 319-326, 2012.

USDA - United States Department of Agriculture. **Safra Mundial de Soja 2014/15 - 8º Levantamento do USDA**, 2014. Disponível em: http://sna.agr.br/wp-content/uploads/boletim_safra-mundial-soja_dezembro2014.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2015.

VIEIRA, J.F.; OLIVEIRA, S.; ZANATTA, Z.C.N.; LEMES, E.S.; VILLELA, F.A.; BARROS, A.C.S.A. Physiological and phytosanitary potential of rocket seeds. **Ciência Rural**, v.45, n.2, p.200-205, 2015.

VIEIRA, R.D.; BITTENCOURT, S.R.M.; PANOBIANCO, M. Seed vigour - An important component of seed quality in Brazil. **Seed Science and Technology**, v.1, n.126, p.21-22, 2003.

WEITBRECHT, K.; MULLER, K.; METEZGER, G.L. First off the mark: early seed germination. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.10, p.3289-3309, 2011.

WENDT, L.; GOMES JUNIOR, F.G.; ZORATO, M.F.; MOREIRA, G.C. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja por meio de imagens. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.3, pp.280-286, 2014.