



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

agrarias.prppg@ufrpe.br

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco  
Brasil

Wendt, Letícia; de Matos Malavasi, Marlene; Lopes Dranski, João Alexandre; Contro  
Malavasi, Ubirajara; Guilhien Gomes Junior, Francisco  
Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja  
Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 12, núm. 2, 2017, pp. 166-171  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119051638008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja

Letícia Wendt<sup>1</sup>, Marlene de Matos Malavasi<sup>1</sup>, João Alexandre Lopes Dranski<sup>2</sup>,  
Ubirajara Contro Malavasi<sup>1</sup>, Francisco Guilhien Gomes Junior<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias Mal. Cândido Rondon, Rua Pernambuco, 1777, Centro, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon-PR, Brasil. E-mail: wendtleticia@hotmail.com; marlenemalavasi@yahoo.com.br; biramalavasi@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Faculdade Educacional de Medianeira, Rua Rio Branco, 1820, Centro, CEP 85884-000, Medianeira-PR, Brasil: E-mail: joaodranski@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Pavilhão de Tecnologia de Sementes, Avenida Pádua Dias, 11, São Dimas, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil. Caixa Postal 9. E-mail: francisco1@usp.br

### RESUMO

Uma das prioridades das empresas produtoras de sementes é a redução do tempo para decidir sobre o destino de lotes e alguns testes de vigor podem atender esses objetivos, com resultados rápidos e precisos. Diante do exposto, neste trabalho o objetivo foi identificar os testes de vigor que melhor predizem o estabelecimento de plântulas de soja em campo. No trabalho foram avaliados quatro lotes de sementes da cultivar 6458 RSF Ipro, com quatro repetições, implantados em laboratório no delineamento inteiramente ao acaso e no campo em delineamento em blocos ao acaso. As variáveis analisadas foram [CO<sub>2</sub>], índice de vigor - SVIS® (Seed Vigor Imaging System), primeira contagem de germinação (PCG), emergência de plântulas em campo (EP), índice de velocidade de emergência (IVE) e tetrazólio. Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias agrupadas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. O vigor determinado pela análise de imagens SVIS® possui maior capacidade em prever o estabelecimento de plântulas de soja em campo e alterações na taxa respiratória e de danos por deterioração modulam a uniformidade e velocidade de crescimento das mesmas.

**Palavras-chave:** análise de trilha; estabelecimento em campo; *Glycine max* (L.) Merrill; potencial fisiológico

## *Relationship between vigor tests with field emergency of soybean seed*

### ABSTRACT

One of the priorities of the seed companies is to reduce the time to decide on the fate of lots and some vigor tests can meet these goals, with quick and accurate results. Given the above, this study aimed to identify the vigor tests that best predict the establishment of soybean seedlings in the field. Four seed lots of cultivar 6458 RSF Ipro with four replications, deployed in a laboratory in a completely randomized design and in the field in a randomized block design were evaluated. The variables analyzed were [CO<sub>2</sub>], index of vigor - SVIS®, first germination count (FGC), seedling emergence in the field (SEF), emergence speed index (ESI) and tetrazolium. Data were subjected to analysis of variance and the averages grouped to the 5% level of probability by the Scott - Knott test. The vigor quantified by image analysis SVIS® has greater ability to predict the establishment of soybean seeds in the field and the changes in respiratory rate and deterioration damage modulate the speed and uniformity of seedling growth.

**Key words:** patch analysis; field establishment; *Glycine max* (L.) Merrill; physiological potential

## Introdução

A soja tem sido a principal cultura cultivada no país ocupando lugar de outras, mas principalmente tem seu avanço em áreas de pastagens reconvertidas para o cultivo de grãos. A estimativa de área plantada de soja é crescente em quase todos os estados produtores, com o início da colheita avançando, a projeção é de crescimento de 12,8% na produção, atingindo 107,61 milhões de toneladas (CONAB, 2017). Por isso, nesse seguimento, é essencial a produção de sementes com qualidade satisfatória para o estabelecimento adequado da cultura e obtenção de rendimentos aceitáveis (Bornhofen et al., 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 sensibilidade de sementes viáveis as adversidades do campo são aumentadas pelo seu grau de deterioração, resultando distorções interpretativas dos resultados obtidos na avaliação do potencial fisiológico. Portanto, o reconhecimento dos testes de vigor que melhor predizem o desempenho em campo possibilita o entendimento da real influência sobre o comportamento após a semeadura.

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 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 alfafa. Nesse sistema, denominado *Seed Vigor Imaging System* - SVIS®, o vigor é quantificado por meio de um índice, calculado com base nos valores de percentagem de germinação e biométricos das plântulas. A metodologia foi adaptada para sementes de diversas espécies de vegetais, como a de soja (Hoffmaster et al., 2003, Hoffmaster et al., 2005; Marcos Filho et al., 2009).

Outro procedimento que pode permitir a obtenção de resultados rápidos sobre o vigor de lotes de sementes é a quantificação da taxa respiratória, com base na determinação da concentração de CO<sub>2</sub>. A respiração é a oxidação completa de compostos de carbono a CO<sub>2</sub> e água, através de uma série de reações, usando oxigênio comoceptor final de elétrons, sendo a energia liberada e conservada na forma de ATP (Taiz & Zeiger, 2009).

O estudo da correlação simples entre testes de vigor com o estabelecimento de plântulas em campo é frequentemente

adotado para validar o comportamento potencial quantificado em laboratório (Ávila et al., 2005; Braz & Rossetto, 2009; Leal et al., 2012), contudo, muitas vezes não há significância entre os resultados dos testes de vigor com o observado em campo. A correlação simples permite apenas avaliar a magnitude e o sentido da associação entre duas variáveis, gerando informações incompletas, pois não externam resultados acerca dos efeitos diretos e indiretos de um grupo de parâmetros em relação a uma variável dependente de maior importância (Marcos Filho et al., 1984; Lorentz et al., 2006).

A análise de trilha se fundamenta na decomposição do coeficiente de correlação simples, permitindo avaliar se a relação existente entre duas variáveis é de causa e efeito ou é determinada pela influência de outras variáveis (Cruz, 2006). Portanto, a falta ou a alta magnitude da correlação simples entre parâmetros de vigor com o estabelecimento em campo pode ser influenciada pelos efeitos diretos e indiretos dos demais atributos que compõem a qualidade fisiológica de um lote de sementes.

Diante do exposto, neste trabalho o objetivo foi identificar os testes de vigor que melhor predizem o estabelecimento de plântulas de soja em campo.

## Material e Métodos

As avaliações para caracterização dos lotes e o teste de concentração de CO<sub>2</sub> foram realizados no Laboratório de Fisiologia e Tecnologia de Sementes e Mudas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus Marechal Cândido Rondon. A emergência de plântulas em campo foi realizada na área experimental da mesma universidade, 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 quatro lotes de sementes da cultivar 6458 RSF IPRO, produzidas na safra 2012/2013 em Cascavel - PR.

A caracterização dos lotes foi realizada através de testes conduzidos em laboratório descritos a seguir.

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 percentagem na base úmida.

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 percentagem média de plântulas normais. Conjuntamente com o teste de germinação foi realizado o teste de primeira contagem de germinação, sendo computada a percentagem de plântulas normais obtidas no quinto dia após a semeadura (Brasil, 2009).

Para avaliação do vigor dos lotes de sementes, além do teste de primeira contagem descrito anteriormente, foram utilizados os seguintes testes:

Teste de tetrazólio: para avaliar o vigor das sementes foi utilizada a metodologia descrita por França Neto et al. (1998), com amostras de 100 sementes de cada lote, pré-condicionadas em papel-toalha umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca, durante 24 h, em temperatura ambiente. Em seguida, as sementes foram acondicionadas em copos plásticos com capacidade para 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. A metodologia utilizada permite classificar a semente em uma escala de 1 a 8, sendo 1 a semente sem danos até 8 uma semente completamente danificada.

Análise computadorizada de imagens de plântulas - 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 Scanner HP Scanjet G2410, disposto de maneira invertida no interior de uma caixa de alumínio (60 x 50 x 12 cm) e operado pelo software Photosmart®, com resolução de 100 dpi. As plântulas normais, anormais e sementes mortas identificadas em 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: Índice de vigor (IV) =  $\text{Peso}_c \times C + \text{Peso}_u \times U$ , em que C é o crescimento (índice 0 a 1000), U é a uniformidade de crescimento (índice de 0 a 1000) e IV é o índice de 0 a 1000 (Sako et al., 2001). Para 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).

Concentração de CO<sub>2</sub>: obtido através do pico de concentração de CO<sub>2</sub> 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 com capacidade para 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 de demanda biológica de oxigênio (B.O.D.) a 15 °C e a concentração de topo foi obtida nos intervalos: 1:00, 3:00, 6:00, 9:00 e 11:00 h 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 CO<sub>2</sub> por grama de semente (Dranski et al., 2013).

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 mês de novembro de 2013. A porcentagem de plântulas normais emergidas foi computada no décimo quinto dia após

a semeadura (Nakagawa, 1994). Paralelamente foi realizada a determinação do índice de velocidade de emergência, seguindo a equação proposta por Maguire (1962) aplicado nas condições de campo. As contagens foram diárias e se considerou como plântula normal, as que possuíram cotilédones totalmente expandidos, epicótilo e plúmula evidentes.

O delineamento experimental para as análises laboratoriais foi o inteiramente ao acaso com quatro repetições e no teste da concentração de CO<sub>2</sub> foi adotado o arranjo fatorial 4 x 5, compreendendo os quatro lotes e os cinco períodos de incubação. Para a emergência de plântulas em campo o delineamento foi em blocos ao acaso 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 dos testes de vigor e de estabelecimento em campo, calculou-se a matriz de correlações simples entre as variáveis e em seguida realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade, com base no número de condição (NC). Posteriormente realizou-se a análise de trilha entre as variáveis restantes, em que o índice de velocidade de emergência em campo e a porcentagem de plântulas normais emergidas em campo foram consideradas como variáveis dependentes. Para realização das análises estatísticas utilizou-se o programa GENES (Cruz, 2001).

## Resultados e Discussão

O grau de umidade das sementes dos diferentes lotes de variou de 12,2% a 12,7%, externando uniformidade quanto à manutenção do estado seco. Pelos resultados do teste de germinação foram identificadas diferenças de viabilidade entre os lotes (Tabela 1), com o mais baixo percentual de plântulas normais obtidas no lote um e o mais alto para o lote quatro. Apenas para o lote quatro observou-se germinação dentro dos padrões para comercialização de sementes (Brasil, 2013).

Os resultados dos testes de vigor indicaram diferenças significativas entre os lotes (Tabela 2), cujos resultados eram esperados porque para os lotes havia diferenças significativas de viabilidade (Tabela 1), pois já é sabido que a perda do vigor ocorre antecipadamente à perda de viabilidade. Ressalta-se, entretanto, que o objetivo dessa pesquisa foi utilizar lotes com níveis extremos de potencial fisiológico na verificação da eficiência dos métodos na avaliação do vigor.

**Tabela 1.** Grau de umidade e porcentagem de plântulas normais de quatro lotes de soja, cultivar 6458 RSF Ipro.

Lotes	Grau de umidade	Germinação
	(%)	
1	12,7 a	28 d
2	12,5 a	43 c
3	12,7 a	76 b
4	12,2 a	88 a
CV (%)	7,99	7,93

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott (P>0,05).



**Tabela 2.** Vigor de quatro lotes de sementes de soja, cv. 6458 RSF Ipro determinado por diferentes testes.

Lotes	PCG %	TZ <sub>v</sub>	IV-SVIS	CO <sub>2</sub> μmol CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup>
1	19 d	30 b	243 d	495,89 c
2	31 c	37 b	298 c	500,86 c
3	66 b	59 a	604 a	769,23 a
4	76 a	64 a	587 b	665,02 b
CV (%)	4,86	11,56	11,48	11,6

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-knott ( $P>0,05$ ).

PCG: primeira contagem de germinação; TZ<sub>v</sub>: teste de vigor pelo tetrazólio; IV-SVIS: índice de vigor pela análise de imagens de plântulas; CO<sub>2</sub>: concentração de CO<sub>2</sub>.

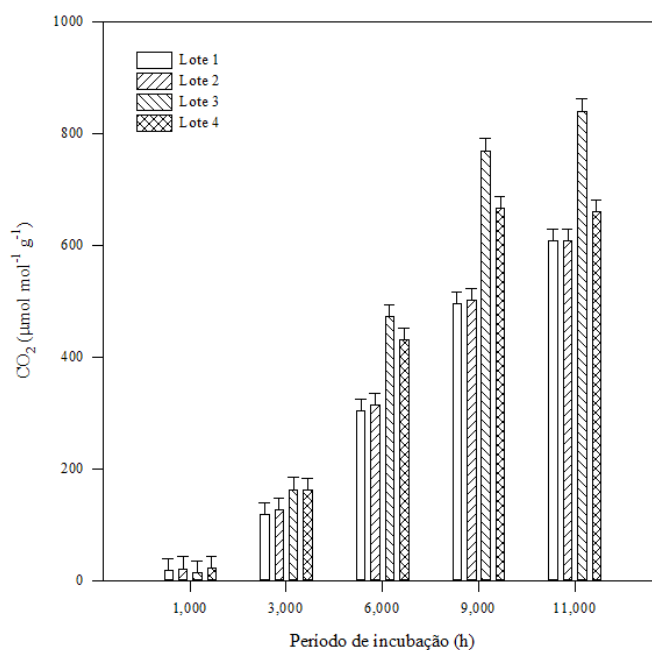
Pelos resultados dos testes de vigor (Tabela 2) verificou-se comportamento semelhante para os lotes de menor viabilidade (1 e 2), uma vez que houve baixa percentagem de germinação na primeira contagem, menor proporção de sementes consideradas de maior vigor pelo teste tetrazólio, menor taxa respiratória e índice de uniformidade, enquanto o desempenho dos lotes 3 e 4 foi superior (Tabela 2), sendo os mesmos mais vigorosos nos testes de primeira contagem de germinação (PCG), tetrazólio (TZ), índice de vigor (IV-SVIS), concentração de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>), em comparação aos lotes 1 e 2.

Os valores dos índices de vigor do teste Seed Vigor Imaging System (SVIS) obtidos para os lotes 3 e 4 foram de 604 e 587, respectivamente, sendo os mesmos classificados como de alto e bom vigor em comparação aos lotes 1 e 2, cujos índices de vigor de 243 e 298, respectivamente, são considerados como baixo vigor, conforme classificação feita pela Ohio Crop Improvement Association, entidade certificadora de sementes no estado de Ohio/EUA. De acordo com Marcos Filho et al. (2009), a análise de imagens de plântulas provenientes do teste de germinação, com uso do Seed Vigor Imaging System (SVIS) é sensível para a determinação do vigor de sementes de soja. Conforme Sako et al. (2001) e Hoffmaster et al. (2005), as vantagens do SVIS em comparação as avaliações manuais incluem a rápida obtenção de resultados e alta precisão porque não envolvem erros humanos de avaliação, cálculo, estimativas e medições.

A determinação da concentração de CO<sub>2</sub> foi mais eficiente após nove horas de incubação porque foi possível observar diferença significativa com a máxima separação dos lotes em função da faixa analítica de leitura de CO<sub>2</sub> (Figura 1).

Ao quantificarem a concentração de CO<sub>2</sub> em sementes de canola, também com o auxílio de um medidor de trocas gasosas, Dranski et al. (2013) concluíram que após três horas de incubação foi possível agrupar os lotes de *Brassica napus* L. em quatro classes de vigor. Esses resultados demonstram que as sementes de cada espécie responde de maneira diferente ao tempo de leitura para quantificação de CO<sub>2</sub>, fornecendo espaço para novas pesquisas com espécies ainda não estudadas e de interesse econômico, visto que o teste de respiração, embora seja de alto custo inicialmente é rápido para avaliação do vigor de sementes antes mesmo da protrusão radicular.

A partir da análise dos resultados na Tabela 2 foi possível observar que o lote 3, de maior vigor também foi o de maior atividade respiratória em comparação aos demais lotes, evidenciando que sementes de soja cv. 6458 RSF Ipro mais vigorosas liberam mais CO<sub>2</sub>. Esses resultados corroboram

**Figura 1.** Liberação de dióxido de carbono em função do período de incubação a 15 °C, em quatro lotes de sementes de soja, cv. 6458 RSF Ipro, (n = 4).

com o estudo de Mendes et al. (2009), em que a atividade respiratória mensurada em três lotes de sementes de soja, pelo método de Pettenkofer, demonstraram alta, média e baixa atividade respiratória, sendo proporcional à maioria dos testes de vigor realizados.

Com relação ao estabelecimento em campo (Tabela 3) observou-se menor porcentagem e velocidade de emergência de plântulas para aquelas oriundas dos lotes 1 e 2, enquanto o lote 3 houve maior porcentagem de plântulas emergidas, com maior velocidade no estabelecimento, contrariando os resultados obtidos com os testes da primeira contagem de germinação e vigor aferido pelo teste de tetrazólio (Tabela 2).

Após a análise de multicolinearidade constatou-se que na presença dos resultados do teste da primeira contagem de germinação os valores de número de condição (NC) foram de 518 e 218 para o IVE e para a porcentagem de plântulas emergidas em campo (Tabela 3), respectivamente, indicando multicolinearidade moderada a forte. Após a exclusão daquela variável, os valores de NC regrediram para 67 e 65, respectivamente, enquadrando-se como multicolinearidade fraca (NC < 100), portanto, não necessitando de métodos alternativos para minimizar os efeitos da multicolinearidade (Cruz, 2006).

**Tabela 3.** Porcentagem e índice de velocidade de emergência de plântulas em campo de quatro lotes de sementes de soja, cv. 6458 RSF Ipro.

Lotes	EP (%)	IVE
1	17 c	2,12 c
2	24 c	2,99 c
3	69 a	9,05 a
4	58 b	7,04 b
CV (%)	12,82	13,94

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-knott ( $P>0,05$ ).

EP: porcentagem de plântulas normais emergidas em campo; IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas em campo.

Pelos dados da análise de trilha (Tabela 4) observou-se que o aumento na atividade respiratória ( $\text{CO}_2$ ) e a maior porcentagem de sementes sem danos deteriorativos (TZ) contribuem indiretamente para o aumento na velocidade e emergência de plântulas no campo através da manutenção do grau de uniformidade de desenvolvimento das plântulas (SVIS). Portanto, o estabelecimento de um estande de plântulas a campo é diretamente proporcional a velocidade de emergência e de crescimento de suas partes, tendo em vista que os efeitos diretos entre SVIS com o estabelecimento em campo foram de alta magnitude e com mesma direção.

Quando o coeficiente de correlação simples e o efeito direto forem semelhantes em magnitude e sinal, Segundo Lorentz et al. (2006) o efeito direto explica a verdadeira associação entre as variáveis, ou seja, é de causa e efeito. No entanto, quando o coeficiente de correlação simples for positivo e o efeito direto for desprezível, a correlação será causada pelos efeitos indiretos. Logo, a uniformidade e velocidade de crescimento de plântulas de soja aferidas pela análise de imagens de plântulas foi o melhor preditor com o observado em campo.

Os resultados da análise de trilha corroboram os observados por Lone et al. (2014) em sementes de ervilha, com efeito direto de alta magnitude de mesmo sinal para parâmetros de crescimento aéreo e radicular com a capacidade de estabelecimento. Entretanto, Boligon et al. (2011) relataram que o efeito direto de variáveis morfológicas de vigor não teve efeitos com o estabelecimento de plântulas, mas capacidade de germinação em temperatura subótima é a variável mais adequada para prever a emergência de plântulas de abóbora.

As condições ótimas mantidas durante o teste de germinação e a extensão dos danos quantificados pelo teste tetrazólio podem não refletir o vigor potencial das sementes sobre as manifestações fisiológicas observadas em campo, mesmo com altos valores nos coeficientes de correlação simples com mesma direção. O teste tetrazólio, por ser um teste topográfico, não permite a determinação da extensão do dano, apenas sua constatação, fato comprovado pela baixa relação entre os efeitos indiretos com a quantificação do  $\text{CO}_2$  liberado.

A interpretação de testes de vigor depende de decisões tomadas pelo analista, considerando critérios pré-estabelecidos, no entanto pode ter limitações, destacando-se

**Tabela 4.** Estimativas dos efeitos direto e indireto obtidos pela análise de trilha entre as variáveis de vigor com o estabelecimento a campo de sementes de soja cultivar 6458 RSF Ipro.

Variáveis	Vias de associação	IVE Estimativa	EP
SVIS	Efeito direto	0,86	0,96
	Efeito indireto via $\text{CO}_2$	0,22	0,17
	Efeito indireto via TZ	-0,14	-0,16
	Total	0,94**	0,97**
$\text{CO}_2$	Efeito direto	0,25	0,20
	Efeito indireto via SVIS	0,76	0,84
	Efeito indireto via TZ	-0,11	-0,13
	Total	0,89**	0,91**
TZ	Efeito direto	-0,14	-0,17
	Efeito indireto via SVIS	0,81	0,89
	Efeito indireto via $\text{CO}_2$	0,19	0,15
	Total	0,86**	0,87**
$R^2$		0,92	0,96
Efeito residual		0,28	0,20

SVIS: Seed Vigor Imaging System;  $\text{CO}_2$ : Concentração de  $\text{CO}_2$ ; TZ: vigor pelo teste de tetrazólio;  $R^2$ : coeficiente de determinação múltipla. \*Significativo a 1% pelo teste t.

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, consequentemente, a automatização desses procedimentos pode contribuir significativamente para aprimorar a precisão de resultados, além da obtenção mais rápida da informação.

## Conclusão

O vigor determinado pela análise de imagens de plântulas possui maior capacidade em prever o estabelecimento de plântulas de soja em campo e alterações na taxa respiratória e de danos por deterioração modulam a uniformidade e a velocidade de crescimento das plântulas.

## Literatura Citada

- Ávila, M. R.; Braccini, A. L.; Scapim, C. A.; Martorelli, D. T.; Albrecht, L. P. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 10, p. 62-70, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222005000100008>.
- Boligon, A. A.; Dal'Col Lúcio, A.; Garcia, D. C. Emergência de plântulas de abóbora a partir da avaliação da qualidade das sementes. *Ciência Rural*, v. 40, n. 11, p. 2274-2281, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001100005>.
- Bornhofen, E.; Benin, G.; Galvan, D.; Flores, M.F. Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.45, n.1, p.46-55, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.
- 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*, n.181, seção 1, p. 16-37, 2013. <http://apasem.com.br/site/index.php/instrucao-normativa-no-45>. 02 Ago. 2015.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- Braz, M. R. S.; Rossetto, C. A. V. Correlação entre testes para avaliação da qualidade de sementes de girassol e emergência das plântulas em campo. *Ciência Rural*, v. 39, n. 7, p. 2004-2009, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000146>.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 2016/2017. <http://www.conab.gov.br>. 17 Mar. 2017.
- Cruz, C. D. Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.
- Cruz, C. D. Programa Genes: estatística experimental e matrizes. Viçosa: UFV, 2006. 285 p.
- 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  $\text{CO}_2$  emission. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 229-236, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000300005>.
- França Neto, J. B.; Krzyzanowski, F. C.; Costa, N. P. O teste de tetrazólio em sementes de soja. Londrina: Embrapa; CNPSo, 1998. 72 p.

- 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. <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2343321?uid=3737664&uid=2&uid=4&sid=21104206365101>. 28 Jul. 2015.
- Hoffmaster, A. L.; Fujimura, K.; McDonald, M. B.; Bennett, M. A. An automated system for vigour testing three-day-old soybean seedlings. *Seed Science and Technology*, v. 31, n. 3, p. 701-713, 2003. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.19>.
- Leal, C. C. P.; Torres, S. B.; Nogueira, N. W.; Tomczak, V. E.; Benedito, C. P. Validação de testes de vigor para sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.). *Revista Brasileira de Biociências*, v. 10, n. 3, p. 421-424, 2012. <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2270>. 05 Ago. 2015.
- Lone, I. A.; Tyagi, S. D.; Tauheeda, H.; Suliman, D. Correlation and path analysis studies for seedling vigor traits in pea (*Pisum sativum*). *Advances in Agriculture, Sciences and Engineering Research*, v. 4, n. 1, p. 1478-1487, 2014. [http://scienceindex.com/stories/4178470/Correlation\\_and\\_path\\_analysis\\_studies\\_for\\_seedling\\_vigor\\_traits\\_in\\_pea\\_pisum\\_sativum.html](http://scienceindex.com/stories/4178470/Correlation_and_path_analysis_studies_for_seedling_vigor_traits_in_pea_pisum_sativum.html). 01 Ago. 2015.
- Lorentz, L. H.; Fortes, F. O.; Dal'col Lúcio, A. Análise de trilha entre as variáveis das análises de sementes de espécies florestais exóticas do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, v. 30, n. 4, p.567-574, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000400009>.
- 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. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- Marcos Filho, J. Pescarin, H. M. C.; Komatsu, Y. H.; Demétrio, C. G. B.; Fancelli, A. L. Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e suas relações com a emergência das plântulas em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 19, n. 5, p. 605-613, 1984. <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15720>. 28 Jul. 2015.
- Marcos Filho, J.; Kikuti, A. L. P.; Lima, L. B. Métodos para avaliação do vigor de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000100012>.
- Mendes, C. R.; Moraes, D. M.; Lima, M. G. S.; 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. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000200020>.
- Nakagawa, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Vieira, R. D.; Carvalho, N. M. (Eds.). *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.
- 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 de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.5, p.84-90, 2014. <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3339>. 15 Ago. 2015.
- 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. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150011>.
- SAEG. Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes; UFV, 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.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.
- Vieira, R.D.; Bittencourt, S.R.M.; Panobianco, M. Seed vigour - an important component of seed quality in Brazil. *ISTA News Bulletin*, n. 126, p. 21-22, 2003. <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/STI126Oct2003.pdf>. 28 Jul. 2015.