



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
ENGENHARIA AGRONÔMICA**

LUÍS FERNANDO SANTOS

**EFICIÊNCIA DE SOFTWARES DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA
AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE SOJA**

**SETE LAGOAS - MG
DEZEMBRO, 2023**

EFICIÊNCIA DE SOFTWARES DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, *campus* Sete Lagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Área de concentração: Fitotecnia

Orientadora: Dra. Nadia Nardely Lacerda Durães Parrella

**SETE LAGOAS - MG
DEZEMBRO, 2023**

EFICIÊNCIA DE SOFTWARES DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del Rei, *campus* Sete Lagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Área de concentração: Fitotecnia

Orientadora: Dra. Nadia Nardely Lacerda Durães Parrella

Sete Lagoas, 06 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Dr. Amilton Ferreira da Silva - UFSJ

Eng. Grazielli Santos dos Reis

Dra. Nádia Nardely Lacerda Duraes Parrella - UFSJ

Data da aprovação: 06 de dezembro de 2023.

SUMÁRIO

Introdução	07
Material e Métodos	08
Resultados	10
Discussão	21
Conclusão	25
Referências	26

RESUMO

A análise de imagens está se tornando uma ferramenta essencial nas ciências agrárias, superando os métodos tradicionais e proporcionando resultados mais rápidos e confiáveis, particularmente importante para a soja, um produto chave para o Brasil. Para isto, diversos softwares de processamento de imagem estão sendo usados para obter medições precisas com menos mão de obra. Alguns estudos mostram que esses sistemas são tão eficientes quanto os métodos tradicionais. Com isso, é importante observar a acurácia dos dados obtidos nesses sistemas antes de adotá-los como rotina nos laboratórios de ciências agrárias. Deste modo, se faz necessário verificar a eficiência das análises computacionais em comparação com os métodos tradicionais de medição manual. O objetivo do trabalho foi comparar esses métodos no desenvolvimento de plântulas de soja. Para isso foram utilizadas sementes de soja da cultivar Brasmax Olimpo IPRO, que foram colocadas para germinar segundo as Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009) e posterior avaliação do desenvolvimento de vinte e uma plântulas aos três, cinco e oito dias após montagem do teste por meio de medições manual, utilizando-se paquímetro digital e análise de imagens através de dois softwares: o ImageJ e o Vigor S. Foi possível verificar que as medições realizadas de maneira computadorizada se utilizando os dois softwares demonstraram maior rapidez e precisão, sendo consideradas opções viáveis nas rotinas de laboratórios de sementes. Além disso, existe correspondência entre os resultados dos testes tradicionais usados para avaliação de vigor de sementes de soja e os resultados obtidos na avaliação do índice de vigor na análise de imagens.

Palavras-chave: Análise, softwares, Soja, Imagem, Computacionais.

ABSTRACT

Image analysis is becoming an essential tool in agricultural sciences, surpassing traditional methods and providing faster and more reliable results, particularly important for soybeans, a key product for Brazil. To this end, various image processing software is being used to obtain accurate measurements with less labor. Some studies show that these systems are as efficient as traditional methods. Therefore, it is important to observe the accuracy of the data obtained from these systems before adopting them as a routine in agricultural science laboratories. Therefore, it is necessary to verify the efficiency of computational analyzes in comparison with traditional manual measurement methods. The objective of the work was to compare these methods in the development of soybean seedlings. For this, soybean seeds from the Brasmax Olimpo IPRO cultivar were used, which were placed to germinate according to the Seed Analysis Rules (Brasil, 2009) and subsequent evaluation of the development of twenty-one seedlings at three, five and eight days after test assembly through manual measurements, using a digital caliper and image analysis using two software programs: ImageJ and Vigor-S. It was possible to verify that the measurements carried out in a computerized manner using both software demonstrated greater speed and precision, being considered viable options in the routines of seed laboratories. Furthermore, there is a correspondence between the results of traditional tests used to evaluate the vigor of soybean seeds and the results obtained in the evaluation of the vigor index in image analysis.

Keywords: Analysis, software, Soy, Image, Computing.

1. INTRODUÇÃO

Dentro das ciências agrárias a realização de análise de imagens é cada vez mais necessária e requisitada, buscando uma maior e mais assertiva obtenção de resultados de forma rápida e com dados seguros. Tendo em vista o aumento de resultados e respostas obtidas através de análise de imagens computadorizadas, tais técnicas tem se tornando mais rápidas e precisas, buscam minimizar as conhecidas limitações que existem nos testes que são tradicionalmente realizados nos laboratórios das ciências agrárias (BRANDINI, 2017).

Existe uma necessidade de uma maior eficiência nas análises é ainda maior quando se trata da soja (*Glycine Max L*). O Brasil é hoje o maior produtor e exportador mundial da soja, com uma produção de cerca de 154 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023). Ela ainda é responsável por cerca de US\$100 bilhões por ano de receita para o país (EMBRAPA SOJA, 2012). Com tamanha importância socioeconômica, se faz necessário cada vez mais, uma maior eficiência e melhor obtenção de resultados em estudos sobre a soja, incluindo sua germinação e vigor, sendo os programas de análises computacionais uma alternativa viável.

Os primeiros estudos acerca das análises de imagens digitais no ramo de sementes, tiveram inícios com o uso de softwares de processamento e imagem digitais e eram utilizados com o intuito de se obter medições do comprimento de raiz de diversas espécies. A sequência de processamento e análise de imagens que são realizadas em softwares, segue uma sequência programada de eventos que são baseados em algoritmos computacionais, dessa forma, nos levando a resultados confiáveis de com uma menor necessidade de mão de obra e uma otimização do tempo (IMAGE PESQUISA 2021).

Em estudo de McCormac et al. (1990), foi discutido a utilização de um sistema que realizasse a avaliação de forma automática do vigor de alfes a partir de imagens de plântulas do mesmo e obtiveram resultados positivos, mostrando que o sistema se fez eficiente tanto quanto o tradicional.

A realização das análises computadorizadas de imagem apresenta algumas vantagens, entre elas é a utilização de tempo para a obtenção destes resultados, que em alguns casos são utilizadas plântulas de apenas 3 dias de idade para se obter o índice de vigor, sendo um tempo menor que o requerido para a realização do teste quando esse realizado manualmente (HOFFMASTER et al. 2003).

Outra vantagem de suma importância que o sistema de análises computacionais apresenta é a eliminação ou diminuição de erro humano, o que leva a uma maior confiabilidade dos resultados para fim de comparação entre lotes de sementes e ainda a possibilidade de arquivamento das imagens para análise posterior (ALVARENGA et al. 2012), o que não é possível no método tradicional.

Para a realização das medições computacionais, existem diversos softwares com as mais variadas funções, necessitando um conhecimento prévio de responsável pelas análises para maior assertividade nos resultados. Dentre os programas que realizam essas medições, estão o *ImageJ* e o *Vigor-S*. O *ImageJ* é um software de código aberto, que permite que usuários contribuam com o desenvolvimento de ferramentas para os mais variados usos. O programa foi desenvolvido inicialmente para a realização de análises de imagens biomédicas (SCHINDELIN, 2015), mas já é usado para as mais diversas áreas devido a sua vasta possibilidade de uso e resultados possíveis.

Já o *Vigor-S* (Análise Automatizada de Vigor de Semente) é um software desenvolvido por pesquisadores brasileiros, em uma parceria da USP/Esalq e Embrapa com o objetivo de avaliar o vigor de sementes através do desempenho das plântulas poucos dias após a germinação (RODRIGUES, 2019).

Apesar de que estudos demonstram a efetividade das análises computacionais por meio dos mais diversos softwares, é importante observar a acurácia dos dados obtidos nesses sistemas antes de adotá-lo como rotina nos laboratórios de ciências agrárias.

Deste modo, se faz necessário a verificação da eficiência dessas análises quando comparadas com o método tradicional de medições manuais para que ela se torne usual. Portanto, o objetivo deste trabalho foi comparar medições manuais que são práticas comuns nos laboratórios com os métodos computadorizados de desenvolvimento das plântulas de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análises de Sementes, na Universidade Federal de São João del-Rei, Campus de Sete Lagoas, localizado na Rodovia MG-424- km 47, MG, 35701-970. Para a execução do projeto, foram utilizadas sementes de soja da cultivar Brasmax Olimpo IPRO, cultivar essa com crescimento indeterminado e de ciclo precoce. Para realização da germinação das sementes, elas foram separadas em 3 grupos de 50 sementes para que fosse realizada as medições em dias diferentes Para as medições, foram utilizadas 21 plântulas de cada

lote, isto porque, o software Vigor-S não processa um número maior do plântulas tendo 21 como o seu limite de leitura. As sementes foram distribuídas sobre folhas de papel germitest umedecidos até atingirem peso igual 2,5x o seu peso original. Em seguida foram levadas para a estufa, onde permaneceram em uma temperatura de 25°C até as datas das leituras. (BRASIL, 2009). As medições se iniciaram 3 dias após o início do teste de germinação, nesse intervalo de tempo, a germinação já apresenta tamanho suficiente para se obter a primeira leitura automática de comprimento da raiz primária no software Vigor-S (RODRIGUES, 2019).

Após os primeiros 3 dias de germinação, foram separadas amostras germinadas da soja, essas amostras foram dispostas sobre um papel EVA de cor azul, a fim de se obter um contraste com a coloração da plântula, facilitando assim a leitura e obtenção das medições. Com o auxílio de um paquímetro digital, foi realizada a medição manual da germinação, anotadas e posteriormente tabuladas em uma planilha eletrônica. Após a leitura manual, as imagens das amostras foram capturadas através do scanner HP G4050 instalado em posição invertida em uma estrutura adaptada possibilitando assim a obtenção de imagem sem danificar a amostra. O mesmo foi instalado no computador disponível no laboratório (Intel Core I3, 4GB de RAM, Windows 7).

As imagens foram capturadas com qualidade de 300 a 600dpi, o que possibilita uma maior riqueza de detalhes na imagem, facilitando assim a leitura. No software ImageJ, foi calibrado para realizar as medições em centímetros, por padrão, o mesmo realiza as medições em pixels. Para isso, junto com as amostras, foi adicionado uma régua graduada para servir de referência, possibilitando assim a conversão de pixels para cm. Utilizando a ferramenta “Segmented Line” foi realizada as medições seguindo as curvas e voltas presentes na radícula de algumas germinações, dando assim maior assertividade na medição.

Após isso, abriu-se a imagem com as amostras no software Vigor-S, que fornece de maneira automática as primeiras medições, porém possibilita algum ajuste manual que seja necessário. Em alguns casos é necessário se realizar tais ajustes pois o programa pode não identificar alguma sobreposição das raízes ou até mesmo ter dificuldade na identificação das partes devido ao contraste entre a cor da amostra e o fundo da imagem (Glória, 2022).

Além das medidas, também se anotou o horário de início e término da realização das medições. O processo foi repetido no 5º dia após a germinação em uma das amostras e no 8º dia na outra amostra, seguindo a orientação de leituras de germinação do RAS.

Após coletadas as informações, foi possível obter dados acerca da variação percentual nas medições entre cada plântula, entre cada método de obtenção dos dados, além do tempo médio

gasto em cada método, de além de ser possível realizar uma avaliação criteriosa de pontos positivos e negativos de cada um deles.

3. RESULTADOS

Na tabela 1 é possível observar as medições do 3º dia após a germinação. Nela se pode observar uma maior variação quando comparada as medições manuais com a via software ImageJ. Um dos possíveis motivos dessa maior variação se deve ao fato de que ao início da germinação algumas plântulas podem apresentar formatos de curvas nas radículas, o que dificulta na precisão da medição manual, diferentemente do software que permite as medições das curvas apresentando um resultado mais preciso. As variações entre plântulas apresentaram variação média de 29,58%. A plântula de número 11 apresentou a maior variação no teste, 73,83%, já a plântula 3 teve a menor variação entre as amostras, apresentando variação de 2,85%.

Tabela 1. Medições de vinte e uma plântulas de soja aos 3 dias de germinação com método manual (paquímetro) e análise de imagens utilizando o Software ImageJ, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	Comprimento (cm) Paquímetro	ImageJ (cm)	Variação entre Manual e ImageJ J
1	2,18	2,80	28,58%
2	3,39	4,35	28,41%
3	2,70	2,78	2,85%
4	4,73	5,90	24,78%
5	4,61	4,94	7,29%
6	3,82	5,55	45,58%
7	3,22	4,97	54,53%
8	4,35	5,76	32,64%
9	3,21	5,09	58,63%
10	3,02	4,08	34,98%
11	2,53	4,39	73,83%
12	3,80	5,22	37,37%
13	3,37	3,54	4,83%
14	4,09	4,34	6,12%
15	3,76	5,62	49,47%
16	3,70	4,96	33,99%
17	3,42	3,51	2,69%

18	4,04	5,37	33,00%
19	5,33	6,92	29,77%
20	3,68	4,53	22,95%
21	4,40	4,79	8,94%
MÉDIA	3,682	4,733	29,58%
DESVIO	0,763	1,023	
MÍNIMO	2,180	2,780	
MÁXIMO	5,330	6,920	

A tabela 2 apresenta o comparativo entre as medições manuais e no software Vigor S. Nessa comparação, algumas plantas apresentaram variação em seu tamanho de mais de 100% entre os métodos. A variação média nas medições entre o software Vigor-S e as medições manuais foi de 18,82%, mostrando que a variação entre eles é menor do que quando comparada a manual com o ImageJ. Um dos motivos dessa maior proximidade de valores entre eles, se dá ao fato de que no Vigor-S a detecção do comprimento é realizada de maneira automatizada, devido a isso, algumas plântulas tiveram parte de suas raízes não identificadas pelo software, fazendo com que seu comprimento total fosse menor que o real, o que acontece também nas medições manuais, devido às curvaturas nas radículas, a medição manual se faz imprecisa em algumas leituras. Devido a essa medição automática no Vigor-S, algumas plântulas não tiveram todo comprimento detectado pelo software, fazendo com que a mesma apresentasse tamanho menor quando comparado com a medição manual.

O Vigor-S permite que se realize ajustes manuais nas medições detectadas automaticamente, porém visando avaliar a capacidade de detecção automática do software, esse ajuste não foi realizado, mantendo assim a medição fornecida pelo programa.

Tabela 2. Medições de vinte e uma plântulas de soja 3 dias de germinação com método manual (paquímetro) e análise de imagens utilizando o Software Vigor-S, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	Comprimento (mm) Paquímetro	Vigor-S	Variação entre Manual e Vigor-S
-----------------	--	----------------	--

1	2,17	2,71	24,88%
2	3,386	3,62	6,91%
3	2,7	2,84	5,19%
4	4,73	5,27	11,42%
5	4,606	5,17	12,24%
6	3,815	4,12	7,99%
7	3,215	4,6	43,08%
8	4,345	4,45	2,42%
9	3,21	4,78	48,91%
10	3,022	4,75	57,18%
11	2,526	5,38	112,98%
12	3,797	3,46	-8,88%
13	3,374	2,6	-22,94%
14	4,085	4,78	17,01%
15	3,76	5,87	56,12%
16	3,701	3,6	-2,73%
17	3,418	3,83	12,05%
18	4,04	5,02	24,26%
19	5,334	3,77	-29,32%
20	3,682	3,52	-4,40%
21	4,397	5,31	20,76%
MÉDIA	3,68	4,26	18,82%
DESVIO	0,76	0,95	
MÍNIMO	2,18	2,60	
MÁXIMO	5,30	5,87	

A tabela 3 apresenta o resultado comparativo entre as medições realizadas no ImageJ comparado com as do software Vigor-S.

Quando comparado as medições nos dois softwares, a variação foi ainda menor, cerca de 8,82% apenas de variação. O que mostra uma eficiência na calibração realizada no ImageJ ao passar as medições que originalmente ocorrem no software em pixels para medição padrão em cm, quanto na detecção das plântulas ao 3º dia de germinação no software Vigor-S. A plântula de número 3, que apresenta formação mais retilínea de sua radícula apresentou uma variação de apenas 0,08mm entre os dois softwares.

Tabela 3. Medições de vinte e uma plântulas de soja 3 dias de germinação com método de análise de imagens utilizando o Software ImageJ e Vigor-S, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	ImageJ	Vigor-S	Varição entre ImageJ e Vigor-S
----------	--------	---------	--------------------------------

1	2,8	2,71	-3,15%
2	4,35	3,62	-16,74%
3	2,78	2,84	2,27%
4	5,9	5,27	-10,71%
5	4,94	5,17	4,61%
6	5,55	4,12	-25,82%
7	4,97	4,6	-7,41%
8	5,76	4,45	-22,78%
9	5,09	4,78	-6,13%
10	4,08	4,75	16,45%
11	4,39	5,38	22,52%
12	5,22	3,46	-33,67%
13	3,54	2,6	-26,49%
14	4,34	4,78	10,27%
15	5,62	5,87	4,45%
16	4,96	3,6	-27,40%
17	3,51	3,83	9,12%
18	5,37	5,02	-6,57%
19	6,92	3,77	-45,54%
20	4,53	3,52	-22,24%
21	4,79	5,31	10,86%
MÉDIA	4,73	4,26	-8,29%
DESVIO	1,02	0,95	
MÍNIMO	2,80	2,60	
MÁXIMO	6,92	5,87	

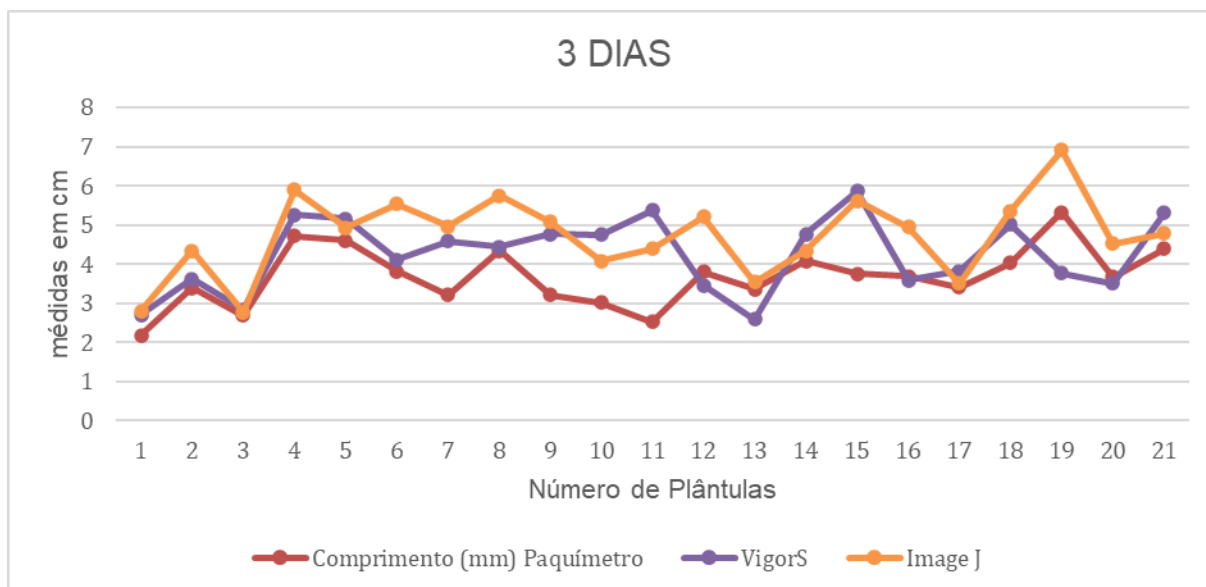


Figura 1. Análise gráfica comparativa entre os três métodos de medições em vinte e uma plântulas de soja 3 dias de germinação, Sete Lagoas.

Na tabela 4 temos a medição comparativa entre os métodos manuais no 5º dia de germinação e o software ImageJ. Nesta medição a variação entre as plântulas e a variação média foram menores do que as do 3º dia. Uma hipótese para essa menor diferença se deve ao fato de que com 5 dias de germinação, a plântula apresenta um maior comprimento de radícula e de forma mais retilínea, o que facilita a medição manual fazendo com que as diferenças entre os métodos fossem menores.

Tabela 4. Medições de vinte e uma plântulas de soja 5 dias de germinação com método manual (paquímetro) e análise de imagens utilizando o Software ImageJ, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	Comprimento (mm) Paquímetro	ImageJ	Varição entre Manual e ImageJ
1	8,2	8,52	3,90%
2	8,5	8,46	-0,51%
3	9	9,07	0,77%
4	8	7,20	-9,99%
5	8,6	8,31	-3,41%
6	8,3	8,14	-1,99%
7	10,2	9,60	-5,87%
8	10,9	10,13	-7,03%
9	9,8	10,09	2,98%
10	10,4	11,01	5,82%

11	8,1	10,61	31,01%
12	10,6	10,04	-5,28%
13	9,7	8,86	-8,67%
14	11,2	12,29	9,76%
15	7,9	8,94	13,11%
16	9,7	10,92	12,53%
17	9,3	10,45	12,39%
18	6,8	8,43	23,97%
19	8,2	9,26	12,89%
20	7,4	7,81	5,59%
21	6,6	7,53	14,15%
MÉDIA	8,92	9,32	5,05%
DESVIO	1,31	1,30	
MÍNIMO	6,80	7,20	
MÁXIMO	11,20	12,29	

Na tabela 5, temos os valores das medições manuais e via Vigor-S no 5° de germinação. Nela a variação foi maior do que a variação entre as medições manuais e do ImageJ. Um motivo para isso está relacionado a não identificação total de algumas plântulas pelo software Vigor-S, fazendo com que a variação seja maior.

Tabela 5. Medições de vinte e uma plântulas de soja 5 dias de germinação com método manual (paquímetro) e análise de imagens utilizando o Software Vigor-S, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	Comprimento (mm) Paquímetro	Vigor-S	Variação entre Manual e Vigor-S
1	8,20	9,89	20,61%
2	8,55	7,42	-12,71%
3	9,00	12,54	39,33%
4	8,00	8,20	2,50%
5	8,60	8,84	2,79%
6	8,30	14,26	71,81%
7	10,20	12,40	21,57%
8	10,90	4,63	-57,52%
9	9,80	9,64	-1,63%
10	10,40	7,01	-32,60%
11	8,10	9,46	16,79%
12	10,60	11,72	10,57%
13	9,70	7,36	-24,12%
14	11,20	12,41	10,80%

15	7,90	10,64	34,68%
16	9,70	14,99	54,54%
17	9,30	11,74	26,24%
18	6,80	9,50	39,71%
19	8,20	7,23	-11,83%
20	7,40	9,97	34,73%
21	6,60	8,84	33,94%
MÉDIA	8,92	9,938	13,34%
DESVIO	1,31	2,57	
MÍNIMO	6,80	7,01	
MÁXIMO	11,20	14,99	

Quando comparados os softwares Vigor-S e ImageJ no 5º dia, obtivemos uma variação média de 7,91%, demonstrando uma maior proximidade das medidas entre os softwares quando comparado com as medições manuais (Tabela 6).

Tabela 6. Estatística descritiva de medições de vinte e uma plântulas de soja 5 dias de germinação com análise de imagem utilizando software ImageJ e Vigor-S, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	ImageJ	Vigor-S	Variação entre ImageJ e Vigor-S
1	8,52	9,89	16,08%
2	8,457	7,42	-12,26%

3	9,069	12,54	38,27%
4	7,201	8,2	13,87%
5	8,307	8,84	6,42%
6	8,135	14,26	75,29%
7	9,601	12,4	29,15%
8	10,134	4,63	-54,31%
9	10,092	9,64	-4,48%
10	11,005	7,01	-36,30%
11	10,612	9,46	-10,86%
12	10,04	11,72	16,73%
13	8,859	7,36	-16,92%
14	12,293	12,41	0,95%
15	8,936	10,64	19,07%
16	10,915	14,99	37,33%
17	10,452	11,74	12,32%
18	8,43	9,5	12,69%
19	9,257	7,23	-21,90%
20	7,814	9,97	27,59%
21	7,534	8,84	17,33%
MÉDIA	9,317	9,938	7,91%
DESVIO	1,30	2,58	
MÍNIMO	7,20	4,63	
MÁXIMO	12,29	14,99	

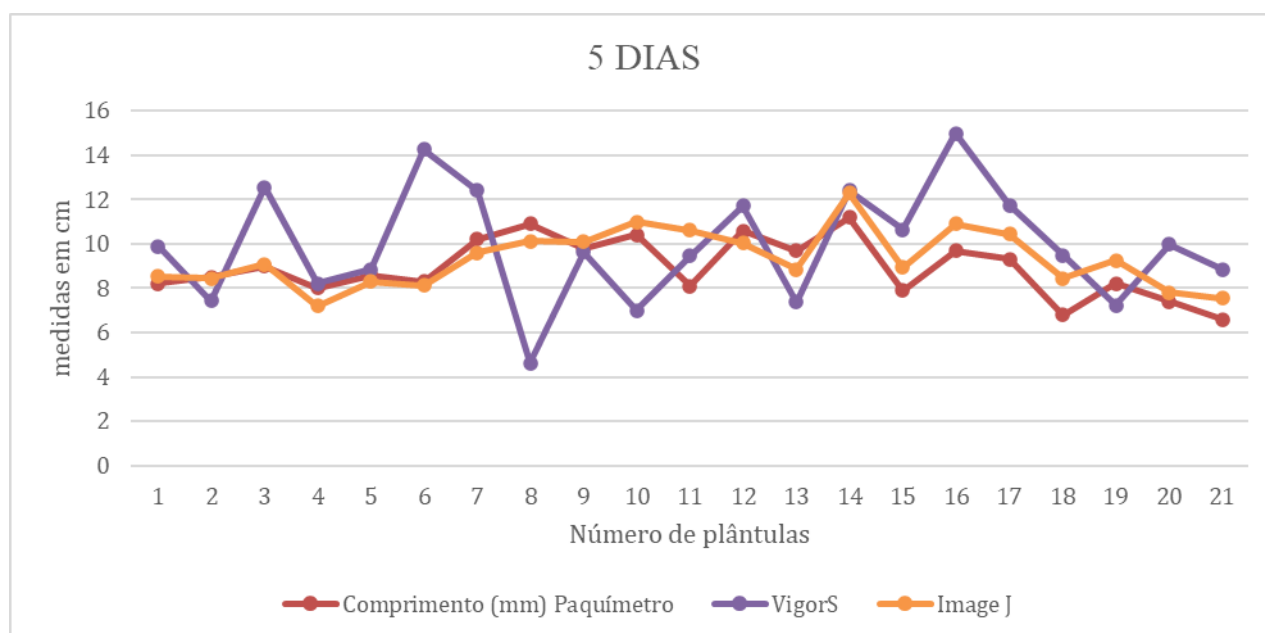


Figura 2. Análise gráfica comparativa entre os três métodos de medições em vinte e uma plântulas de soja 5 dias de germinação, Sete Lagoas.

A tabela 7 apresenta a comparação entre a medição manual e o software ImageJ no 8º dia de germinação. Nessa medição, devido ao maior comprimento da plântula nesse estágio de desenvolvimento, as mesmas já apresentam um comprimento retilíneo, permitindo uma maior assertividade das medições manuais. Com isso, a variação entre as medições manuais e o software ImageJ foi de 6,54%.

Tabela 7. Medições de vinte e uma plântulas de soja 8 dias de germinação com método manual (paquímetro) e análise de imagens utilizando o Software ImageJ, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	Comprimento (mm) Paquímetro	ImageJ	Varição entre Manual e Image J
1	20,85	22,95	10,05%
2	18,20	19,54	7,35%
3	26,10	28,08	7,59%
4	19,00	16,53	-13,02%
5	17,40	16,67	-4,18%
6	19,20	18,95	-1,33%
7	18,00	21,67	20,40%
8	14,10	15,48	9,82%
9	20,00	20,71	3,53%
10	18,60	17,82	-4,19%
11	21,00	22,20	5,73%
12	13,50	11,86	-12,16%
13	15,10	17,07	13,04%
14	18,90	23,34	23,49%
15	20,00	21,28	6,41%

16	16,80	17,91	6,62%
17	23,40	25,36	8,37%
18	15,50	17,09	10,24%
19	19,20	24,17	25,89%
20	13,20	14,53	10,09%
21	18,50	19,17	3,62%
MÉDIA	18,41	19,64	6,54%
DESVIO	3,13	3,91	
MÍNIMO	13,20	14,53	
MÁXIMO	26,10	28,08	

A tabela 15 apresenta a comparação entre as medições manuais e do software Vigor-S também no oitavo dia de germinação. Nessa comparação, a variação média foi a mesma que a comparação entre manual e ImageJ, porém o comprimento médio das plântulas pelo Vigor-S foi de 16,64 cm, 1,77cm menor a média obtida via manual. Essa diferença se deu, devido a presença de algumas raízes secundárias na germinação da soja, o que fez com que o software identificasse algumas delas como raiz principal, diminuindo assim o comprimento total da plântula.

Tabela 8. Medições de vinte e uma plântulas de soja 8 dias de germinação com método manual (paquímetro) e análise de imagens utilizando o Software Vigor-S, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	Comprimento (mm) Paquímetro	Vigor-S	Variação entre Manual e Vigor-S
1	20,85	15,70	-0,25
2	18,20	15,70	-0,14
3	26,10	22,80	-0,13
4	19,00	12,30	-0,35
5	17,40	13,40	-0,23
6	19,20	15,30	-0,2
7	18,00	15,30	-0,15
8	14,10	16,70	0,18
9	20,00	24,50	0,23
10	18,60	20,50	0,1
11	21,00	17,80	-0,15
12	13,50	13,00	-0,04
13	15,10	11,90	-0,21
14	18,90	16,90	-0,11
15	20,00	16,40	-0,18
16	16,80	12,50	-0,26
17	23,40	18,40	-0,21

18	15,50	20,10	0,3
19	19,20	19,80	0,03
20	13,20	11,20	-0,15
21	18,50	19,20	0,04
MÉDIA	18,41	16,64	6,54%
DESVIO	3,13	3,63	
MÍNIMO	13,20	11,20	
MÁXIMO	26,10	24,50	

Na comparação entre os softwares no 8º dia de germinação, obtivemos uma variação média de 14,03% nas medições. As medições via Vigor-S apresentaram tamanho menor do que as medidas via ImageJ (Tabela 9). Devido ao fato de que algumas raízes secundárias foram identificadas como principal no Vigor-S, e também pelos ajustes manuais necessários no software que não identifica automaticamente os comprimentos das plântulas.

Tabela 9. Estatística descritiva de medições de vinte e uma plântulas de soja 8 dias de germinação com análise de imagem utilizando software ImageJ e Vigor-S, a variação entre os métodos, Sete Lagoas, 2023.

Plântula	ImageJ	Vigor-S	Variação entre ImageJ e Vigor-S
1	22,95	15,70	-31,58%
2	19,54	15,70	-19,64%
3	28,08	22,80	-18,81%
4	16,53	12,30	-25,57%
5	16,67	13,40	-19,63%
6	18,95	15,30	-19,24%
7	21,67	15,30	-29,40%
8	15,48	16,70	7,85%
9	20,71	24,50	18,32%
10	17,82	20,50	15,04%
11	22,20	17,80	-19,83%
12	11,86	13,00	9,63%
13	17,07	11,90	-30,28%
14	23,34	16,90	-27,59%
15	21,28	16,40	-22,94%
16	17,91	12,50	-30,21%
17	25,36	18,40	-27,44%
18	17,09	20,10	17,63%
19	24,17	19,80	-18,08%

20	14,53	11,20	-22,93%
21	19,17	19,20	0,16%
MÉDIA	19,64	16,64	-14,03%
DESVIO	3,91	3,63	
MÍNIMO	14,53	11,20	
MÁXIMO	28,08	24,50	

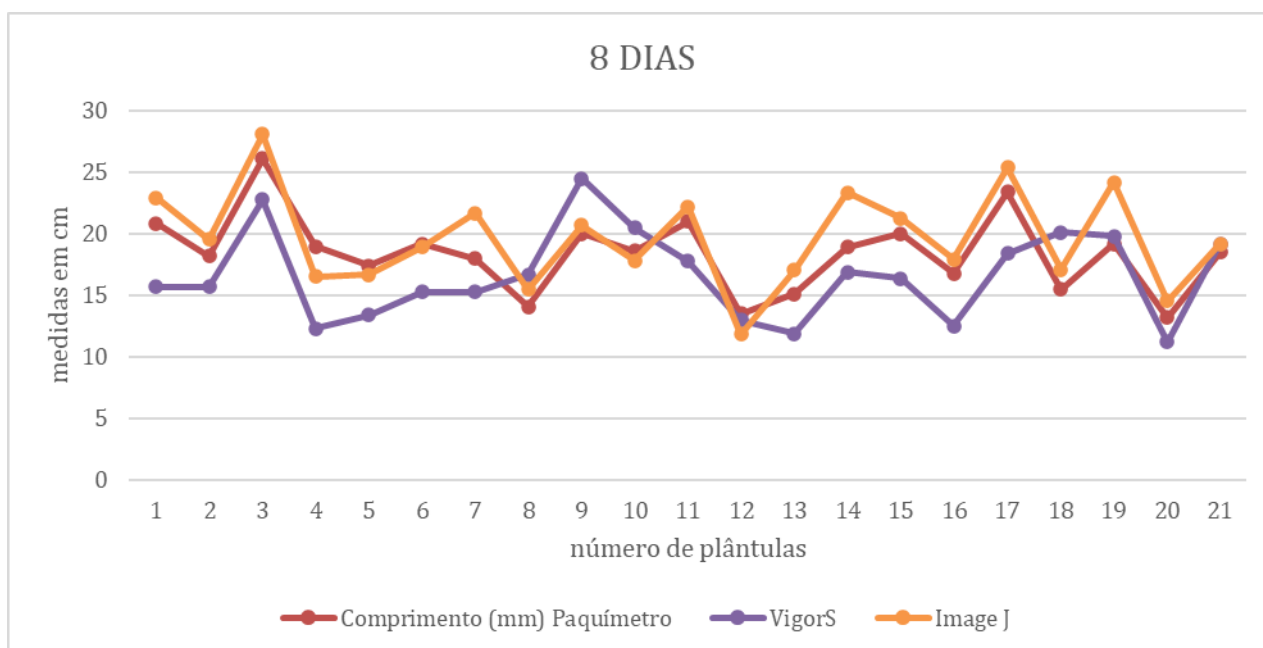


Figura 3. Análise gráfica comparativa entre os três métodos de medições em vinte e uma plântulas de soja 8 dias de germinação, Sete Lagoas.

4. DISCUSSÃO

A medição manual é o método mais tradicional e corriqueiro de se obter os dados em laboratórios, por isso sua aplicabilidade é simples, não sendo necessário um maior conhecimento prévio para realizá-la. Porém a mesma apresenta uma série de limitadores que fazem com que o seu uso seja preterido quando comparado com os métodos de análises computadorizadas. Kikuti e Marcos Filho (2012) realizaram a avaliação em sementes de alface com o uso de equipamento de imagens e observaram ao avaliar o vigor de lotes de sementes, o comprimento de raiz primária e o índice de crescimento de plântulas apresentaram resultados próximos aos dos testes tradicionais

realizados.

Quando se realiza uma medição manual, é necessário que a mesma seja feita logo em seguida ao fim do período de germinação, isso porque com o passar do tempo as plântulas começam a perder seu teor de água, alterando assim suas medidas fazendo com que sua leitura seja feita necessariamente com um mínimo intervalo de tempo após a mesma ser retirada da germinadora.

Outro ponto negativo em relação a leitura manual se dá ao fato de que em algumas espécies de plântulas, como o caso da soja, a mesma pode apresentar pequenas curvaturas em sua radícula ao se emergir, o que limita a precisão da medição manual e devido a sua fragilidade não pode ser totalmente esticada para leitura mais precisa, o que leva a uma medição imprecisa em diversos casos (figura 4). Com isso a medição manual se faz menos precisa além de exigir uma maior demanda de tempo para que seja realizada.



Figura 4. Curvas na germinação da soja.

O software Vigor-S apresenta uma detecção automática das partes da plântula, fornecendo instantaneamente dados de comprimento médio, raiz, hipocótilo, entre outras informações acerca do lote avaliado. Porém, ele requer um conhecimento prévio para captura da imagem de maneira a possibilitar as medições de maneira satisfatória.

Para isso se faz obrigatório o uso de fundo azul nas imagens, a configuração do scanner ao fazer as medições precisa ser de 300dpi, valor esse abaixo do potencial máximo de captação do

scanner, algo contraintuitivo, tendo em vista que, quanto maior o dpi, maior será a qualidade da imagem. (MACHADO, et al 2004)

A detecção automática em alguns casos, pode apresentar imperfeições e não identificar o correto comprimento total da plântula (figura 5). O software permite essa correção de maneira manual, o que não foi realizado neste trabalho tendo em vista o objetivo de se avaliar a precisão da detecção automática das medidas no Vigor-S.



Figura 5. Não detecção do comprimento total da soja pelo software Vigor-S.

Mesmo com esses pontos destacados, o software apresenta uma leitura extremamente rápida das informações, fornece uma tabela completa e de fácil exportação para as planilhas eletrônicas, além de não apresentar grandes variações do comprimento real, tendo em vista que na grande maioria das plântulas o mesmo conseguiu identificar de forma precisa o comprimento total.

O Vigor-S se apresenta-se como uma excelente alternativa quando comparado com a medição manual, fornecendo de maneira rápida e precisa as informações de comprimento da soja, além de várias outras informações que não foram o enfoque deste trabalho, como índice de vigor, plântulas germinadas, uniformidade, entre outros (figura 6).

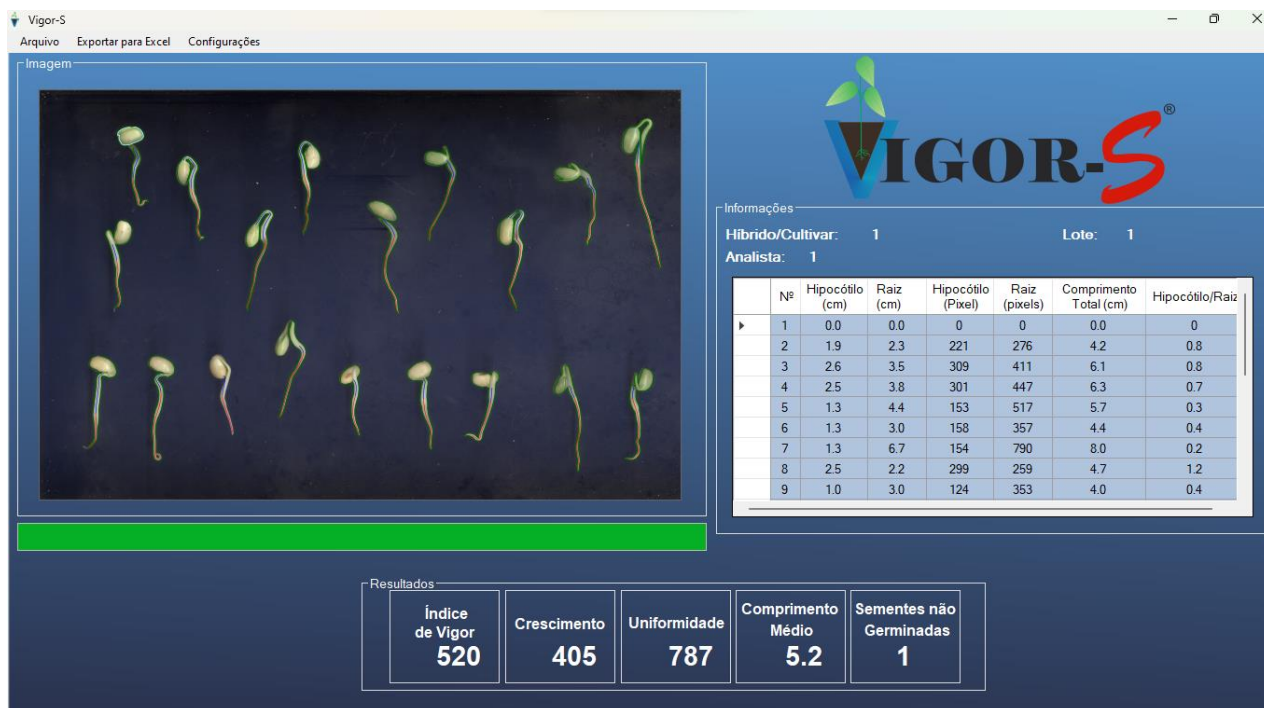


Figura 6. Índices fornecidos pelo software Vigor-S.

O software ImageJ quando comparado com os outros métodos de análise de imagem, é o que mais necessita de conhecimento prévio de suas ferramentas e funções. Por não ser um software originalmente desenvolvido para as ciências agrárias, as ferramentas são adaptadas para esse meio, o que necessita uma maior perícia do analista responsável.

Apesar disto, ele é o que apresenta maior precisão entre os métodos utilizados, com o uso da ferramenta segmented-line, permite que todo o comprimento da plântula seja medido, o uso do tempo para realizar as leituras irá depender da habilidade do analista, mas ela se faz possível de ser realizada com um tempo menor quando comparada com a leitura manual e maior quando comparado com o Vigor-S. O software ImageJ apresenta uma melhor precisão quando comparado com os demais, mas com pouca diferença em relação ao Vigor-S.

É uma alternativa válida se realizar as análises para outras espécies, com outros padrões de crescimento e desenvolvimento. Outros softwares também são possíveis de serem utilizados, visando ter cada vez uma maior precisão e assertividade dos dados obtidos nos laboratórios de ciências agrárias.

De acordo com Dell'Aquila em 2007, a integração de dados obtidos por procedimentos manuais e computadorizados em laboratórios de análise de sementes pode contribuir para a padronização de testes. MARCOS FILHO (2015) ressalta que a análise computadorizada de plântulas, representa um procedimento simples, reproduzível e objetivo para avaliação direta do

vigor de sementes germinadas ou como ferramenta suplementar para a interpretação de outros testes ou mesmo para identificar efeitos de tratamentos químicos e outras situações em que é interessante o monitoramento da germinação e do crescimento de plântulas em intervalos regulares, com uso de análise de imagens no programa ImageJ®.

5. CONCLUSÃO

A utilização da técnica de análise de imagens de plântulas, para a avaliação do potencial fisiológico é eficiente na verificação de diferentes níveis de vigor da semente de soja pelo desenvolvimento de plântulas.

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

O equipamento se mostrou eficiente para a utilização do mesmo como técnica de análise de imagens de plântulas, eliminando qualquer interferência humana que possa ter na checagem do potencial fisiológico da semente.

O software Vigor-S apesar de algumas falhas da detecção automática de plântulas, se mostrou eficiente no fornecimento de medidas e na velocidade da obtenção dos dados.

O ImageJ permite uma maior precisão dos dados com velocidade e segurança, podendo ser usado como ferramenta rotineira nos laboratórios de ciências agrárias.

6. REFERÊNCIAS

A IMPORTÂNCIA da soja no Brasil. *In*: CARRIJO, Cesar *et al.* **A importância da soja no Brasil**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://universo.agroalaxy.com.br/2021/09/09/a-importancia-da-soja-no-brasil/>. Acesso em: 3 dez. 2023.

ALVARENGA, R. O.; MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JUNIOR, F. G. **Avaliação do vigor de sementes de milho super doce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas**. Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 34, n. 3, p. 488-494, set. 2012.

BRANDANI, ERICH BARROS. **ANÁLISE DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE SOJA**. Orientador: Dra. Nara Oliveira Silva Souza. 2017. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília-DF, 2017

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: (<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfd/a/arquivos-publicacoes-laboratorio/regras-para-analise-de-sementes.pdf/view>). Acesso em: data de acesso. 4 dez. 2023.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas. Conab, 2023**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 10 dez 2023.

DALL'AGNOL, Amélio *et al.* Importância socioeconômica da soja. *In*: **Importância socioeconômica da soja**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica-da-soja>. Acesso em: 3 dez. 2023.

DELL'ÁQUILA, A. **Towards new computer imaging techniques applied to seed quality testing and sorting**. Seed Science and Technology, v.35, n. 3, p. 519-538, 2007. <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.3.01>

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

IMAGE PESQUISAS. Jornada IMAGEJ: **Análise de imagens na prática. Jornada ImageJ Para Alunos**, [s. 1.], 2021. E-book Para Alunos.

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

MACHADO, A. W.; SOUKI, B. Q.. Simplificando a obtenção e a utilização de imagens digitais: scanners e câmeras digitais. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v. 9, n. 4, p. 133–156, jul. 2004.

RIBEIRO, Glória de Freitas Rocha. **Sistema Vigor-S e processamento digital como componentes auxiliares de testes para avaliação do vigor de sementes de soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2022. doi:10.11606/D.11.2022.tde-14102022-143625. Acesso em: 2023-12-04

RODRIGUES, Mayara. **Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de sementes de soja**. 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/D.11.2019.tde-29032019-115237. Acesso em: 2023-12-04.

Schindelin J, Rueden CT, Hiner MC, Eliceiri KW. **The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis**. *Mol Reprod Dev*. 2015 Jul-Aug;82(7-8):518-29. doi: 10.1002/mrd.22489. Epub 2015 Jul 7. PMID: 26153368; PMCID: PMC5428984.