A new approach to automate the seed vigor analysis on soybean seedling using digital images

Daniel Caio de Lima, Evandro L. L. Rodrigues Escola de Engenharia de São Carlos – USP São Carlos, São Paulo, Brasil daniel.caio@usp.br, evandro@sc.usp.br

Abstract— Soybean has an important role to brazilian economy, so it is necessary to estabilish some accurate methods that can help to determinate the quality of this seeds. Seed vigor is a value that describes the seedlot quality by analising the seedlings' growth. This paper shows advances in a previous work, introducing a different methodology to automate the seed vigor assessment, introducing a new segmentation method, a new way to removal of cotyledons and a new equation to calculate the seedlot uniformity. This experiment showed a better result than the previous one, but is still necessary to do some adjusts to the cotyledon removal method.

Keywords— seedlings; image processing; segmentation; thinning; pruning

I. INTRODUÇÃO

Atualmente a cultura de soja ocupa cerca de 27,7 milhões de hectares de área plantada, apresentando rendimento de 2.934 kg por hectare [1], tendo grande importância econômica para o Brasil.

Devido à importância deste grão, devem ser tomados cuidados para que a qualidade dos grãos não seja afetada. Segundo [2], além de condições climáticas durante a maturação e a colheita, as principais causas do decréscimo da qualidade das sementes são o manejo inadequado dos grãos durante a colheita, o armazenamento prolongado em condições irregulares, a aplicação de substâncias químicas e os ataques de microrganismos e outras pragas. O teste de germinação de sementes é o método mais comum para avaliar a qualidade de sementes, tendo seu procedimento definido nas Regras para Análise de Sementes [3]. Após a realização dos testes de germinação, são apresentadas plântulas normais e plântulas anormais, sendo que as últimas, na maioria das vezes, são conseqüência das irregularidades nos grãos. Plântulas anormais apresentam deformidades ou ausência de estruturas vitais, como raiz primária, hipocótilo e plúmula, sendo as estruturas das plântulas de soja mostradas na Figura 1.



Figura 1 – Estruturas da plântula de soja.

Lúcio André de Castro Jorge Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos, São Paulo, Brasil lucio.jorge@embrapa.br

Como consequência da má qualidade dos grãos, evidenciase a diminuição do percentual de germinação e o baixo vigor do lote de sementes. A análise do vigor leva em consideração aspectos da relação entre a semente e o ambiente no qual será semeada, fornecendo assim informações complementares ao teste de germinação, diferenciando lotes de alto e baixo vigor, dentro de uma porcentagem adequada para a comercialização. A Associação de Analistas Oficiais de Semente (AOSA) define o vigor de sementes como propriedades que determinam o potencial para uma emergência rápida e uniforme e para o desenvolvimento de plântulas normais em um conjunto amplo de condições ambientais [4].

Métodos computacionais foram desenvolvidos para automatizar a avaliação do vigor em diferentes espécies de sementes, sendo os principais trabalhos descritos por [5], [6], [7] e [8]. Em um trabalho anterior, [9] propõe uma metodologia para analisar o vigor em plântulas de soja com três dias de germinação, utilizando técnicas convencionais de processamento de imagens e equações presentes na literatura. Neste trabalho serão apresentadas alterações na metodologia descrita por [9], alterações estas que compreendem o processo de segmentação da imagem, de extração de características e do cálculo do vigor.

Na seção II serão introduzidas de forma simplificada as técnicas e a teoria por trás de cada uma delas. Na seção III são mostrados os procedimentos utilizados para a construção do novo método para avaliação do vigor nas plântulas de soja. Na seção IV são mostrados os resultados do novo método em comparação ao método descrito em [9]. Por fim, na seção V será apresentada uma conclusão e uma discussão baseada nos resultados obtidos neste experimento.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão descritos, de maneira breve, algumas técnicas utilizadas para a elaboração dos procedimentos que serão descritos na seção 3.

A. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

O coeficiente de uniformidade de Christiansen [10] é uma equação utilizada para calcular a uniformidade da distribuição de água em sistemas de irrigação, porém, uma adaptação desta seria uma boa alternativa à equação de uniformidade descrita por [7]. A equação sem modificações é mostrada a seguir.

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{n \times \bar{x}} \tag{1}$$

Na equação temos *CUC* como sendo o coeficiente de uniformidade de Christiansen, x_i como sendo o comprimento da plântula a ser analisada, \bar{x} o comprimento médio das plântulas do lote analisado e n é a quantidade de plântulas presentes no lote.

B. Afinamento e Pruning

O processo de afinamento consiste em afinar uma imagem binária passando por ela sucessivamente um conjunto de elementos estruturantes, sendo este processo repetido até que não ocorram mais alterações na estrutura do objeto binário. Uma das formas de realizar o afinamento por morfologia matemática é utilizando a transformação *Hit-Miss*, operação utilizada para buscar padrões desejados de *pixels* da imagem. O conjunto de elementos estruturantes é representado pela Figura 2.

0	0	0	-)	1	0	0		1	-1	0		1	1	-1
-1	1	-1		1	1	0		1	1	0		1	1	0
1	1	1		1	1	-1		1	-1	0		-1	0	0
_				_			1			1	1			
1	1	1	-	1	1	1		0	-1	1		0	0	-1
-1	1	-1	(0	1	1		0	1	1		0	1	1
0	0	0	(0	0	-1	1	0	-1	1	1	-1	1	1

Figura 2 – Conjunto de elementos estruturantes para afinamento.

O processo de afinamento pela transformada *Hit-Miss* resulta no surgimento de muitas pontas, chamadas de forma genérica como "pés de galinha", resultantes do processo sobre as extremidades do objeto binário [11]. Uma forma variante do processo de afinamento é chamada de *pruning*, cujo objetive e tirar os pontos extremos, as ramificações resultantes do afinamento. Para a realização do *pruning*, é possível utilizar um dos dois conjuntos de elementos estruturantes, representados pelas figuras 3 e 4.

0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	0
0	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	1	0
-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0
			•						-		
-1	-1	-1	0	-1	-1	0	0	-1	0	0	0
0	1	0	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1

Figura 3 – Conjunto 1 de elementos estruturantes para *pruning*.

0	0	0	0	0	0		0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0		1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0		0	1	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Figura 4 – Conjunto 2 de elementos estruturantes para *pruning*.

III. METODOLOGIA

A. Germinação e aquisição das imagens

Assim como no trabalho anterior, as sementes foram germinadas e submetidas ao processo de germinação, conforme prescrito pelas Regras de Análise de Sementes [3], no laboratório de análise de sementes do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP-ESALQ).

Após o período de 3 dias de germinação, as imagens do lote de sementes foram capturadas por um *scanner* adaptado para esta finalidade.

B. Segmentação

No método proposto em [9], foram testados métodos de segmentação baseados na aplicação da técnica de binarização nos canais G do espaço de cores RGB e H do espaço de cores HSV, além de descrever procedimentos de testes que utilizaram o modelo de contornos ativos (*Snakes*). Neste trabalho, foi testada uma nova abordagem para a segmentação das imagens, baseada em operações matemáticas entre imagens em escala de cinza extraídas dos canais dos espaços de cores RGB e HSV.

De posse da imagem capturada pelo scanner no espaço de cores RGB, assumiu-se cada canal como uma matriz em nível de cinza. A imagem capturada também foi convertida para o espaço de cor HSV e assim também foram assumidas matrizes. Depois de extraídas as matrizes dos canais dos dois espaços de cores, foram realizadas subtrações entre as mesmas, originando 30 imagens analisadas. O processo de subtração entre as matrizes é representado na Figura 5, na qual os círculos representam as matrizes dos espaços de cores e as setas representam a operação de subtração.



Figura 5 – Subtração entre canais RGB (a), subtração entre canais HSV (b), subtração dos canais RGB dos canais HSV (c) e subtração dos canais HSV dos canais RGB (d).

A partir da análise das imagens obtidas, foi possível observar que na imagem resultante da subtração entre a matriz do canal S pela matriz do canal G houve a remoção por completo de informação desnecessária para a análise do vigor de sementes, ou seja, o *background* da imagem foi removido, restando apenas às plântulas, conforme pode ser observado na Figura 6.



Figura 6 – Imagem resultante da subtração entre a matriz do canal S (HSV) e a matriz do canal G (RGB).

A partir da observação da Figura 5, é possível notar que alguns detalhes das plântulas ficaram ocultos, sendo necessário realizar novas operações matemáticas para realçar algumas características da imagem. Ao final dos testes, chegou-se na configuração representada por (2), que resulta em uma imagem com os detalhes realçados (Figura 7).





Figura 7 - Imagem segmentada.

Após o processo de segmentação, a imagem é submetida ao processo de *threshold*, transformando a imagens de níveis de cinza em uma imagem binária, necessária ao procedimento de extração de características.

C. Extração de Características

Após o processo de segmentação, cada objeto binário presente na imagem foi separado, de modo a extrair individualmente as características de cada plântula, realizando o mesmo processo descrito por [9].

O procedimento padrão para se avaliar o vigor de sementes é medir o comprimento das partes que compõem a plântula, sendo necessário remover a parte que compreende ao cotilédone. Para possibilitar a realização destas medidas, as imagens binárias das plântulas são submetidas ao processo de afinamento pela transformada *Hit-or-Miss*. Diferente do método utilizado anteriormente, que removia o cotilédone antes de submeter à imagem ao afinamento (utilizando uma estimativa da área que compreende ao cotilédone), a nova abordagem consiste em realizar a técnica de afinamento até que a imagem resultante fique com a característica evidenciada pela Figura 8.



Figura 8 - Plântula após afinamento.

A parte que contém uma maior quantidade de pixels justapostos compreende a porção do cotilédone. Para removêlo, foi utilizada a técnica de abertura por morfologia matemática, criando uma nova imagem que contém apenas a porção do cotilédone, assim, aplicando-se uma operação lógica XOR entre as duas imagens, obtém-se uma imagem contendo a apenas a raiz da plântula, porém, com algumas ramificações, removidas utilizando a técnica de *pruning* [10]. A Figura 9 ilustra o procedimento.



Figura 9 – Remoção do cotilédone.

Para encontrar a transição entre hipocótilo e raiz primária, foi utilizada uma adaptação da transformada de distância euclidiana para gerar um mapa de distâncias. Para visualização, cada distância foi separada em intervalos iguais de distância, e cada um deles foi apresentado graficamente por uma cor distinta. Um exemplo pode ser visto na Figura 10.



Figura 10 – Mapa de distâncias.

Foram comparadas a imagem do mapa de distância e a imagem do esqueleto, fazendo com que os pontos nos quais foram encontradas as partes com maior distância (maior número de cores distintas no eixo horizontal) fossem marcados no esqueleto automaticamente. O último desses pontos foi considerado como sendo o ponto de transição entre as partes da plântula. O hipocótilo foi pintado de cor azul e a raiz primária foi pintada com a cor vermelha.

D. Cálculo do índice de vigor

Após a extração das características, é necessário medir o comprimento das partes para que seja calculado o índice de vigor. Para medir o comprimento das partes, foi desenvolvido um algoritmo semelhante ao descrito por [8], que analisa *pixels* na diagonal.

Para calcular o índice de vigor foram utilizadas algumas das equações descritas por [7], assim como foi utilizado no trabalho prévio em [9], porém, neste trabalho foi proposta uma substituição da equação do cálculo da uniformidade por uma adaptação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (3), uma vez que a equação de uniformidade descrita por [7] apresenta resultados inferiores aos apresentados pelo sistema para análise de plântulas de soja descrito em [8].

$$CUC = MAX\left(0, \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}i|}{n \times \bar{x}}\right) \times 1000 - Penalização\right) \quad (3)$$

A penalização presente na equação (3) é dada em função do total de plântulas encontradas na imagem e do número de sementes que não germinaram, sendo sua equação mostrada a seguir.

$$Penalização = n_{mort \ as} \times \left(\frac{50}{n_{total}}\right) \tag{4}$$

IV. RESULTADOS

Foram realizados testes com o método descrito por [9] e com o método descrito pelo presente trabalho. Serão apresentadas comparações por meio de tabelas e por meio de imagens resultantes dos dois procedimentos. Uma comparação visual entre os resultados dos dois métodos pode ser visto na Figura 11.





Pode-se observar na Figura 10 é possível observar uma melhora em relação ao método de remoção do cotilédone, pois na Figura 10(a), o método removeu parte da raiz em todas as plântulas da imagem e na Figura 10 (b), o novo método de remoção reduziu o número de plântulas que tiveram parte da raiz removida. A Figura 12 mostra um exemplo comparando um exemplo de duas plântulas.



Figura 12 – Exemplo de remoção do cotilédone. (a) Método prévio. (b) Novo método.

Outro ponto a ser destacado foi a ausência de ramificações no esqueleto da imagem na Figura 11 (b), tornando evidente a eficácia do algoritmo de *pruning*. Com relação a separação entre hipocótilo e raiz primária, pode-se dizer que o método prévio [9] possui falhas, marcando o ponto fora da região na qual, segundo analistas de semente, se encontra o ponto de transição, conforme pode ser visto na Figura 13.



Figura 13 – Resultado prévio de separação de (a). Região esperada para localização do ponto de transição (b).

O novo método desenvolvido para encontrar o ponto de transição entre as partes da plântula apresentou resultados melhores que o método antigo, como pode ser observado na Figura 14, porém, em 30% das plântulas analisadas o ponto de transição ainda foi marcado indevidamente.



Figura 14 – Resultado do novo método de separação de estruturas (a). Região esperada para localização do ponto de transição (b).

Ao todo, testou-se um conjunto de 70 imagens de lotes de sementes, contendo 20 plântulas cada, porém, para ilustrar a eficiência das equações componentes do índice de vigor, foi escolhida uma imagem (Figura 15) como exemplo de um lote

de plântulas de soja previamente classificada como tendo alta uniformidade do comprimento e alto nível de crescimento, tendo como conseqüência um índice de vigor elevado.



Figura 15 – Imagem utilizada para testes do cálculo do índice de vigor.

As medidas úteis para a realização do cálculo do índice de vigor foram extraídas pelo método de mensuração descrito em [8]. Os cálculos foram feitos utilizando as equações do trabalho de [7] e os pesos da Tabela 1, sendo os resultados obtidos explicitados pela Tabela 2, assim como o teste da substituição da equação da uniformidade pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen adaptado.

Cálculo do Vigor	
Peso do Crescimento	50%
Peso da Uniformidade	50%
Cálculo do Crescimento)
Peso do Hipocótilo	10%
Peso da Raiz primária	90%
Cálculo da Uniformidade ([7])
Peso Desvio padrão Hipocotilo	30%
Peso Desvio padrão Raiz primária	30%
Peso Desvio padrão Raiz/Hipocotilo	20%
Peso Plântulas Mortas	20%

TABELA 1. Pesos utilizados nas equações

TABELA 2. Comparação entre os resultados obtidos pela metodologia de [9] (Abordagem A) e pelo presente trabalho (Abordagem B)

	Uniformidade	Crescimento	Índice de Vigor
Abordagem A	294	635	464
Abordagem B	821	635	728

Como pode ser observado, a equação de uniformidade descrita por [7] resultou em um valor de 294 para a característica uniformidade (faixa 0 - 1000) para um lote previamente classificado como de uniformidade alta,

resultando em um índice de vigor baixo para um lote vigoroso. Com a equação da uniformidade de Christiansen foi

obtido um valor de uniformidade de 821 (próximo de 1000), retratando a alta uniformidade e por conseqüência, o alto índice de vigor do lote analisado.

V. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos pelo novo método em comparação a metodologia do trabalho anterior, é possível concluir que houve uma melhora significativa com relação ao método de remover o cotilédone das plântulas, possibilitado pelo novo método de segmentação e pela aplicação da técnica de afinamento morfológico logo após a individualização das plântulas, mas ainda é necessário um pouco mais de trabalho nesta etapa, pois em muitos casos parte da raiz é excluída após a remoção desta estrutura.

Outra melhora notada foi em relação ao modo utilizado para encontrar a transição entre as estruturas, sendo localizada dentro da área considerada ideal por especialistas. Uma contribuição para o trabalho foi a substituição da equação da uniformidade pela adaptação do coeficiente de uniformidade de Christiansen, refletindo melhor a uniformidade do lote de sementes e, como conseqüência, gerando um índice de vigor mais próximo do esperado.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Instituto Brasileiro de Geográfia e Estatística, "Levantamento Sistemático da Produção Agrícola", Outubro de 2013. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/ls pa_201310.pdf >. Último acesso em: 18 de março de 2014.
- [2] C. C. Martins e N. M. Carvalho, "Fontes de Deterioração na Produção de Soja e Respectivas Anormalidades nas Plântulas", Revista Brasileira de Sementes, vol. 16, nº 2, 1994, p. 168-182.
- [3] BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, "Regras para Análise de Sementes", Brasília, 2009. 395p.
- [4] A. C. S. Oliveira, G. N. Martins, R. F. Silva e H. D. Vieira, "Testes de Vigor em Sementes Baseados no Desempenho das Plântulas", Inter Science Place, ano 2, nº 4, 2009.
- [5] A. C. McCormac, P. D. Keefe and S. R. Draper, "Automated Vigour Testing of Field Vegetables Using Image Analysis", SeedSci. &Technol, p.103-112. 1990.
- [6] M. S. Howarth and P. C. Stanwood, "Measurement of Seedling Growth Rate by Machine Vision", Transactions of American Society of Agricultural Engineering, v.36, n.3, 1993, p.959-963.
- [7] Y. Sako, M. B. McDonald, K. Fujimura, A. F. Evans and M. A. Bennett, "A system for automated vigor assessment", Ohio State University, 2001.
- [8] A. L. Hoffmaster, M. B. Fujimura, M. B. McDonald and M. A. Bennett, "An Automated System for Vigor Testing Three-Day-Old Soybean Seedlings", The Ohio State University, 2003.
- [9] D. C. Lima, E. L. L. Rodrigues, L. A. C. Jorge, "Application of Image Processing Techniques to Automate the Seed Vigor Assessment Process in Soybean Seedlings", IX Workshop de Visão Computacional, 2013.
- [10] T. R. I. Rodrigues, H. S. Batista, J. M. Carvalho, A. O. Gonçalves, E. E. Matsura, "Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo", Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 35, nº 2, 2001. p. 187-191.
- [11] J. Facon, "Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos", Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 1996.