

ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS DE PLÂNTULAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE MILHO¹

EVERTON FELIX TEIXEIRA², SILVIO MOURE CICERO³, DURVAL DOURADO NETO⁴

RESUMO - A análise de imagens digitais tem grande potencial de uso na determinação do vigor de sementes. Associada ao teste de crescimento de plântulas, essa técnica possibilita a análise dimensional de imagens com rapidez e precisão. O resultado é a extensão total de cada plântula via quantificação computadorizada do comprimento de suas partes constituintes. Assim, o objetivo do trabalho foi estudar o vigor de lotes de sementes de milho, por meio do teste de crescimento de plântulas, utilizando-se a análise de imagens. Plântulas de milho (genótipo AG122) foram retiradas do germinador ao quarto dia de desenvolvimento e ordenadas sobre uma folha de poliéster transparente na superfície de um “scanner” para a captação das imagens. Desenvolveu-se uma rotina de processamento no programa “Scil-Image” para a análise das imagens digitais obtidas das plântulas. Houve medição computadorizada da extensão total, com a soma do comprimento do coleóptilo ao comprimento da maior raiz da plântula e, também ao tamanho de todo sistema radicular. As plântulas foram mensuradas manualmente, visando a comparação com o método em estudo. Com os resultados verificou-se que a técnica digital possibilita a associação dos dados obtidos no processamento a eventuais diferenças de vigor existentes em lotes de sementes de milho, de maneira similar a outros métodos destinados à avaliação do vigor de sementes da referida espécie.

Termos para indexação: imagem digital, processamento de imagens, semente, sistema radicular, teste de vigor.

DIGITAL IMAGE ANALYSIS OF SEEDLINGS FOR VIGOR EVALUATION OF CORN SEEDS

ABSTRACT - The image analysis has high potential for use in seed vigor determination. Associated to the seedling growth test, this technique is fast, precise and makes dimensional image analysis possible. The result is the total extension of each seedling quantifying the length of their constituent parts. With the purpose of studying the corn seed lot vigor through the seedling growth test, using digital image analysis, corn seedlings (AG122 genotype) were taken from the germination chamber at the fourth day of development and ordered over a transparent polyester film sheet on a scanner surface to capture the images. A routine was developed to process seedling digital images into the “Scil-Image” software. There was a computational procedure to measure the total length, with the sum of coleoptiles to the longest root length of the seedlings and also for all root system. The seedlings were measured manually, seeking comparison with the method under study. The results showed that the digital technique makes it possible to associate the data obtained in processing to eventual vigor differences existing in corn seed lots, in a similar way to the other methods appointed to seed vigor evaluation by the referred species.

Index terms: digital image, image processing, seed, root system, vigor test.

¹ Submetido em 13/04/2005. Aceito para publicação em 19/09/2005;

² Doutor em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba – SP. eft_mx@hotmail.com;

³ Professor Titular, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP: 13418-900, Piracicaba – SP. smcicero@esalq.usp.br;

bolsista do CNPq;

⁴ Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP: 13418-900, Piracicaba – SP; dourado@esalq.usp.br; bolsista do CNPq.

INTRODUÇÃO

Os testes de vigor têm sido amplamente divulgados e aceitos pela indústria de sementes como instrumentos para a tomada de decisões (Delouche, 1976; AOSA, 1983; Krzyzanowski e Miranda, 1990), complementando informações obtidas no teste de germinação (Scott, 1978).

Conduzido de maneira similar ao teste padrão de germinação, o teste de crescimento de plântulas busca revelar a qualidade fisiológica de sementes, quanto à manifestação de seu vigor.

Existem pesquisadores que determinam o comprimento médio das plântulas normais ou de uma de suas partes, como a raiz primária, mas esses procedimentos, em função da morosidade e da subjetividade provocada pela falta de padronização para a avaliação dos parâmetros, têm sido pouco utilizados (Edje e Burris, 1970).

A análise de imagens digitais consiste no reconhecimento da cena para a geração de características dimensionais, como áreas ou comprimentos de objetos, ou atributos, como padrões de cores e texturas, e a sua mensuração através de métodos de contagem ou frequência dos elementos formadores da imagem denominados “pixels”, do inglês “pictures elements” que foi abreviado para “pics els” e então fundido gerando o termo “pixels”.

Para o processamento de imagens digitais foram desenvolvidos algoritmos de computação, que devidamente sistematizados são a base para a análise de imagens digitais, podendo esta ser caracterizada pelo arquivamento de dados e ou comparação de padrões.

Utilizando a análise de imagens, Gunasekaran et al. (1988) avaliaram danos provocados por patógenos em sementes de soja e de milho, enquanto Zayas et al. (1990) avaliaram danos mecânicos em sementes de milho. McDonald e Chen (1990) relataram que, além de sua utilização em agrometeorologia, a análise de imagens vem sendo adaptada para a análise de formas e dimensões de objetos contidos em uma cena. Vooren e Heijden (1993), utilizaram a análise de imagens digitais para avaliar características externas, como tamanho e forma, de bulbos e tubérculos.

Utilizando a análise de imagens para identificar os efeitos dos danos mecânicos sobre a germinação de sementes de milho, Cicero et al. (1998) concluíram que a técnica pode ser utilizada para avaliar danos mecânicos, localizados externamente e internamente nas sementes, diretamente relacionados com as anormalidades de plântulas ou com a morte dos embriões.

Dentro desse quadro, tem sido presenciada uma evolução favorável ao aperfeiçoamento de técnicas computadorizadas, mais sensíveis para a captação e mais precisas para o processamento e extração de informações úteis para a indústria de sementes, definindo-se uma amplificação de sensibilidade por vias digitais (Teixeira et al., 2003).

O presente trabalho de pesquisa teve por objetivo o desenvolvimento de uma sistemática de análise para a obtenção de medidas de plântulas de milho, com base na criação de uma rotina computacional na plataforma gráfica “Scil-Image”, visando-se avaliar o vigor das sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

Teste de crescimento de plântulas

Para determinação da qualidade fisiológica das sementes, a qual está em íntima dependência do seu estado de vigor, foi utilizado o teste de crescimento de plântulas (Nakagawa, 1994). O teste foi realizado na forma de rolos de papel para germinação, com três folhas de papel toalha “germitest” distribuídas duas sob as sementes e uma cobrindo-as. A umidade do papel substrato foi padronizada para duas e meia vezes a sua massa. Foram semeadas dez sementes por rolo, dispostas em linha no terço superior do papel pré-umedecido, em sentido longitudinal, espaçadas igualmente.

De cada um dos cinco lotes de sementes de milho (cultivar AG122) foram tomadas quatro repetições (ou sub-amostras) de cinquenta sementes, sendo assim, duzentas sementes preenchendo vinte rolos por lote em estudo. Os rolos foram agrupados quatro a quatro com atilhos de borracha e, então, dispostos em sacos plásticos e fechados, visando manter constante a umidade no interior das embalagens (Krzyzanowski, 1991).

A extremidade superior dos rolos esteve distanciada de, ao menos, quinze centímetros da abertura do saco, para permitir o desenvolvimento adequado das plântulas. Dessa maneira, os rolos foram colocados em pé em germinador com temperatura regulada para $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e ausência de luz.

Após quatro dias da instalação dos testes, as avaliações foram realizadas de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992), em plântulas normais, anormais e sementes mortas. Com o auxílio de uma régua graduada em centímetros, foram medidos a maior raiz e a parte aérea, (considerada a partir do início da extremidade inferior do mesocótilo até a extremidade superior do coleótilo), totalizando-se as medidas das plântulas normais (maior raiz

mais parte aérea) para cada uma das quatro repetições de sementes por lote.

Digitalização da imagem

Todas as plântulas normais de cada um dos cinco lotes foram digitalizadas, visando o processamento gráfico para análise das imagens com a obtenção de medidas via computação.

Para o preparo das cenas, ou seja, disposição dos objetos na área de digitalização, as plântulas de milho foram ordenadas sobre uma folha de poliéster transparente (transparência para escrita manual), tamanho A4 na superfície do “scanner” para a captação das imagens. Cada uma das plântulas foi arranjada com o auxílio de uma pinça, com base em um gabarito riscado em uma folha de PVA, tamanho A4, colocado sob a transparência, partindo-se da disposição da face dorsal da semente sobre a superfície do “scanner”, inserida logo abaixo da linha que corta o primeiro terço da folha de poliéster (70x297mm).

Considerou-se o paralelismo entre plântulas, evitando-se a interferência de partes como raízes de um mesmo sistema radicular ou de sistemas radiculares distintos que pudessem se encostar. O mesmo cuidado foi considerado para os coleóptilos, impedindo-os que se encostassem.

O tipo de digitalização utilizado foi o movimento congelado da cena (“freezing motion”). A tampa do “scanner” não foi fechada em momento algum.

Para a captura ou digitalização, o programa do “scanner” foi ajustado para a leitura da cena em uma imagem com as seguintes características: formato A4, 256 tons de cinza mapeados em 8bits, 300x300dpi de densidade de resolução de captura (dpi é o número de elementos de imagem, pixels, numa polegada linear analisada), em leitura ajustada para modo refletivo.

O não fechamento da tampa do “scanner” e a não iluminação diretamente sobre o aparelho durante o procedimento de digitalização produziram o efeito de fundo desejado para a formação das imagens com o preto (1) como cor predominante (Figura 1).

Este conjunto de procedimentos iniciais foi imprescindível ao desempenho da análise devido às propriedades fundamentais da imagem como, disposição orientada no eixo cartesiano, alto contraste entre objetos e fundo e não interferência entre os limites dos objetos, necessárias para a performance na computação gráfica (Figura 2) (Teixeira et al., 2003).

Após a formação da imagem, automaticamente, foi

efetuada a sua compressão para o modo gráfico JPEG e seu arquivamento. Assim, criou-se um banco de imagens digitais do tipo JPEG em formato A4 (210x297mm). Com a posse de todas as imagens relativas às plântulas em estudo, passou-se para a fase informatizada de coleta de dados.

Uma vez acessadas as imagens digitais na plataforma “Scil-Image”, utilizou-se a programação que, ao funcionar com cada uma das duzentas imagens obtidas, analisou e gravou em relatório a dimensão comprimento requerida pelo processamento.

Processamento

Desenvolveu-se uma rotina computacional, em linguagem de comandos “macro”, na plataforma gráfica “Scil-Image”, para o processamento e a análise das imagens digitais, com a finalidade de se obter resultados de medidas relativas ao desenvolvimento.

O banco composto por duzentas imagens foi acessado e a rotina carregada no módulo “macro” onde, com o comando “ok” clicado, houve a ação da rotina sobre cada imagem original.

A programação agiu convertendo a imagem para o modo binário, detectando limiares dos objetos, etiquetando todos os objetos presentes em cena, eliminando pequenos objetos tecnicamente denominados de interferências, dilatando e erodindo as representações das plântulas para a retomada de algumas conexões que, por ventura, pudessem estar mascaradas por sombreamento provocado durante a captação (Teixeira et al., 2003).

O próximo passo da rotina foi a transformação das plântulas da representação anterior em esqueletos de “pixels” minimamente conectados, formando segmentos finíssimos, em preparação para a medição. Na seqüência, o algoritmo denominado contador de “pixels” foi utilizado.

Em passo imediato e subsequente, houve medição computadorizada da extensão total, com a soma usual do comprimento do coleóptilo ao comprimento da maior raiz de cada plântula e, também, utilizou-se a rotina para o processamento e análise não usual, do comprimento do coleóptilo somado ao de todo sistema radicular.

A ação de medição foi um processo interativo aonde os “pixels” formadores dos esqueletos foram sendo rastreados um a um e, partindo-se da dimensão já conhecida de seus lados (L), foram obtidas as diagonais ($L \sqrt{2}$) que, conectadas, determinaram a extensão do segmento.

As medidas resultantes foram então convertidas de “pixels” para centímetros, de acordo com a equação

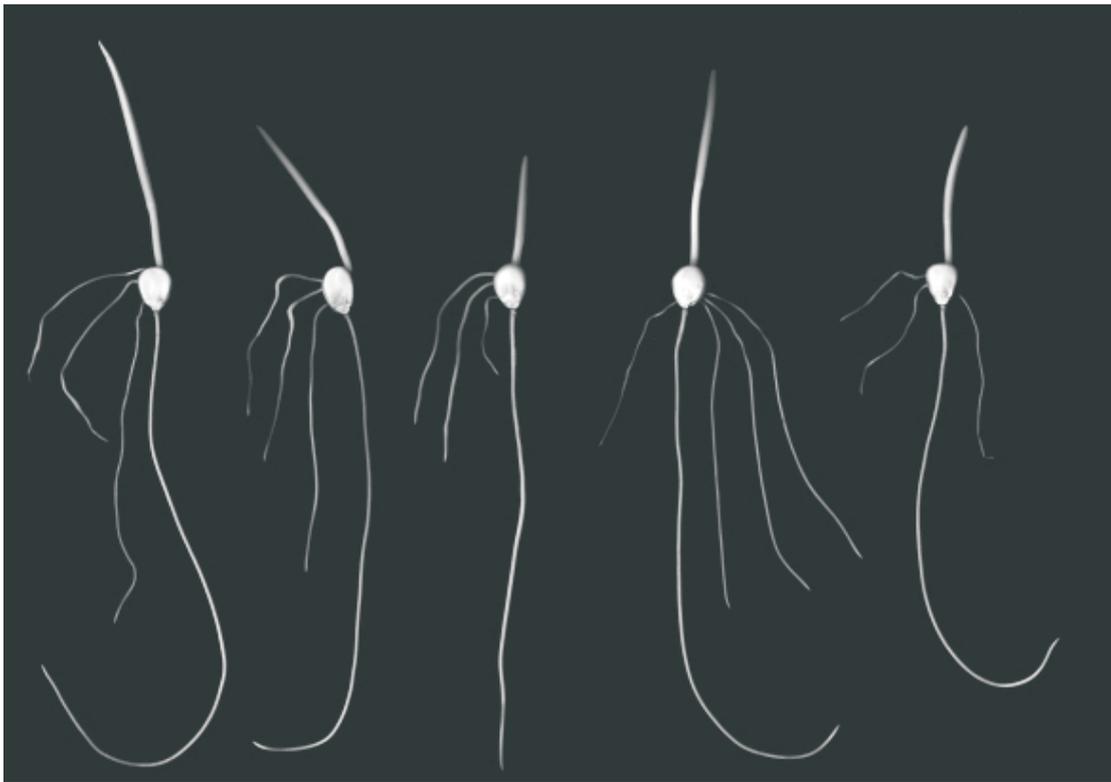


FIGURA 1. Imagem digital amostrada, pronta para análise com o uso da rotina de processamento.

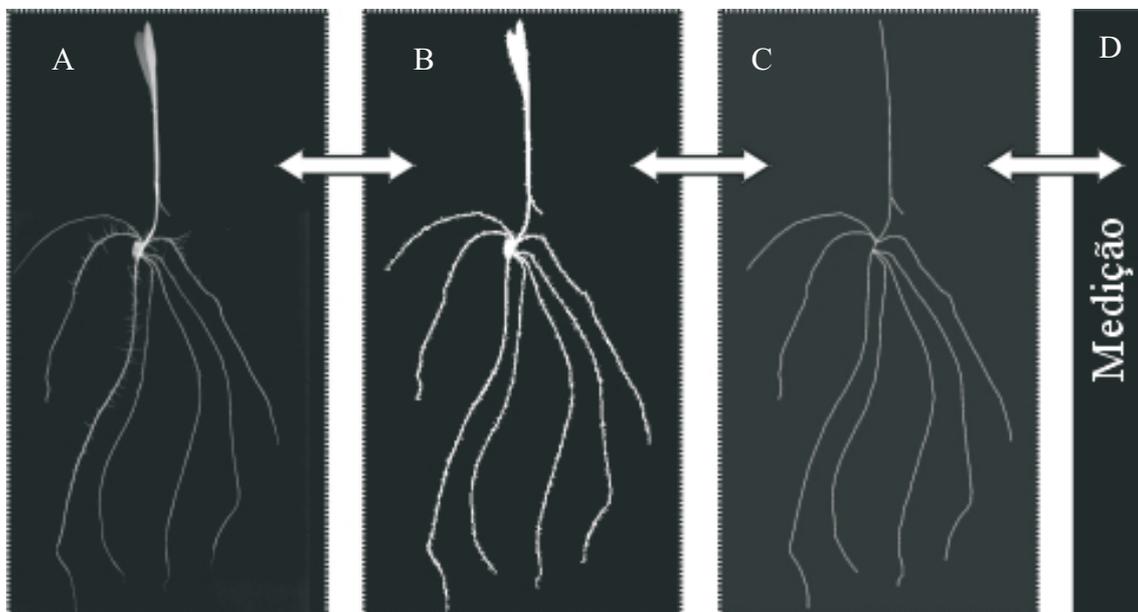


FIGURA 2. Principais passos do processamento digital como representações estáticas: 256 tons em cinza (A), imagem binária (B), esqueleto em imagem binária com pequenos objetos removidos (C), medição com o algoritmo “contador de pixels” (D).

discriminada a seguir e, assim, estudadas estatisticamente.

$$C_n = r \cdot \frac{2,54 \cdot 10^{-4}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

Em que C_n se refere à média aritmética, em centímetros, dos n comprimentos (c) dos objetos (plântulas) obtidos em “pixels” sob resolução (r) dada em dpi.

Determinações complementares

Teor de água da semente

O teor de água da semente foi determinado pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (Brasil, 1992). Calcularam-se os resultados com base no peso úmido (Bu), os quais foram expressos em porcentagem.

Teste de germinação

Na avaliação da germinação, seguiram-se os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992).

Ao acaso, duzentas sementes de cada um dos cinco lotes foram divididas em quatro repetições de cinquenta sementes. Como substrato, foram utilizados rolos de três folhas de papel “germitest” umedecidos com água equivalente a duas e meia vezes o seu peso. O germinador foi regulado a 25°C , no escuro, com os rolos deixados em pé no seu interior. Com quatro dias de desenvolvimento foi feita a primeira contagem e a contagem final no sétimo dia.

Teste de envelhecimento acelerado

Para a realização deste teste, foram utilizadas quatro repetições de cinquenta sementes para cada um dos cinco lotes em estudo. As sementes foram dispostas dentro de caixas plásticas de germinação em camadas simples e uniformes sobre telados de aço inox, encaixados acima de volumes de 40mL de água deionizada, e mantidos em incubadora BOD sob 41°C e 100% de umidade relativa do ar por 96 horas (Marcos Filho, 1999). Após esse período, as sementes foram conduzidas ao germinador de modo semelhante ao descrito para o teste de germinação para a avaliação das plântulas em conformidade com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992).

Teste de condutividade elétrica

Utilizaram-se quatro repetições de cinquenta sementes por lote, pesadas e embebidas em 75mL de água deionizada dentro de copos plásticos por 24 horas sob 25°C (Vieira e Krzyzanowski, 1999). Passado esse período de embebição foram realizadas, em condutímetro da marca DIGIMED, Modelo DM-31, as leituras cujos valores determinados foram divididos pelas massas relativas às cinquenta sementes e

expressos em termos de $\mu\text{mho} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$.

Teste de frio

Para a condução do teste de frio, foram utilizadas quatro repetições de cinquenta sementes por lote semeadas em caixas plásticas, para cada repetição, sobre três quilogramas de mistura de areia e terra na proporção 3:1 e cobertas com um quilograma restante. A quantidade de água adicionada em cada caixa (392mL) foi o ajuste para 70% da capacidade de saturação da mistura de areia e terra, sendo distribuída uniformemente por toda superfície na caixa, logo embalada em saco plástico, vedando-se a abertura do saco com fita adesiva (Barros et al., 1999). As caixas permaneceram por sete dias em câmara fria a 10°C , sendo que, após esse período, foram desembaladas e transferidas para uma câmara com temperatura de 25°C de onde, ao sétimo dia, houve sua retirada para avaliação das plântulas normais emergidas (Krzyzanowski et al., 1991; Barros et al., 1999).

Análise estatística

Para todos os testes foram realizadas análises estatísticas distintas, com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado, realizado no sistema SANEST (Zonta e Machado, 1984), sendo que as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey com diferença mínima significativa situada em 5% de probabilidade. Assim, o potencial fisiológico de cada lote avaliado pelas análises dos testes complementares foi comparado com as respostas do teste de crescimento de plântulas, obtidas vias manual e digital.

Posteriormente, visando-se uma interpretação mais abrangente dos dados obtidos em todos os testes, utilizou-se a classificação estatística (Martins e Silva, 2004) dos lotes sendo que, em cada teste, atribuiu-se a cada um dos lotes a pontuação resultante do somatório das pontuações positivas ou nulas (número de lotes estatisticamente inferiores) e negativas ou nulas (número de lotes estatisticamente superiores). Assim, a soma dos valores obtidos em todos os testes constituiu a pontuação geral do lote para cada um dos conjuntos A e B (A= condutividade elétrica (CE), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio (TF) e B= CRPm (coleóptilo mais a maior raiz via medição manual), CRPp (coleóptilo mais a maior raiz via processamento), CSRp (coleóptilo mais sistema radicular via processamento). Obtidos os números de lotes presentes em grupos idênticos nos conjuntos A e B de testes, calculou-se a taxa (%) de coincidência ($\text{TC} = \frac{\text{número total de lotes presentes no mesmo grupo}}{\text{número total de lotes}} \cdot 100$) para relacionar os resultados dos testes dos conjuntos A e B (Martins e Silva, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa resultou na construção da rotina nomeada EFT_SkiLLMeasure versão 3.3 que faz o processamento e a análise dimensional de plântulas de milho em imagens digitais (Figura 1), para a geração de dados numéricos relativos ao comprimento, na plataforma gráfica Scil-Image. Estágios em seqüência esquemática do processamento digital são apresentados nas figuras 2A a 2D, com os principais resultados como representações estáticas.

Pelo teste de germinação (Tabela 1) observam-se resultados semelhantes entre os cinco lotes do cultivar AG122, com valores superiores a 96,5%, não sendo possível a verificação de diferenças quanto à emissão de estruturas essenciais dos embriões que se desenvolveram durante as avaliações.

Diferenças na qualidade fisiológica dos lotes testados puderam ser identificadas por meio das informações adicionais ao teste de germinação, geradas pelos testes apresentados a seguir. Pela avaliação da qualidade fisiológica das sementes pelo método de análise de imagens digitais no teste de crescimento de plântulas (Tabela 2), diferenças de potencial fisiológico foram verificadas entre as sementes do lote 1, consideradas de maior potencial fisiológico, e as sementes dos lotes 2 e 5, consideradas como de menor potencial fisiológico e os outros lotes (3 e 4) como de potencial fisiológico intermediário. Relacionando-se o método de análise de imagens digitais proposto, ao método de medição manual no teste de crescimento de plântulas, obteve-se resposta semelhante (Tabela 2).

Pelo teste de envelhecimento acelerado (Tabela 1) pode-se separar o lote 1 com sementes de maior potencial fisiológico, do lote 2, com sementes de menor potencial

fisiológico. Já entre lotes 3, 4 e 5, não foram observadas diferenças e os valores foram intermediários. Deve-se ressaltar que os valores dos lotes com qualidade intermediária não foram diferenciados dos valores do lote 1 e também não foram diferenciados dos valores do lote 2.

Por meio do teste de condutividade elétrica (Tabela 1), foi possível a categorização dos lotes em três níveis de vigor; assim, o lote 1 foi considerado como de maior potencial fisiológico, os lotes 3 e 4 foram considerados como de potencial fisiológico intermediário, enquanto que na categoria de menor potencial fisiológico, incluiu-se o lote 2. De acordo com o teste de condutividade elétrica, o lote 5 não apresentou diferença para uma categorização mais precisa entre o potencial fisiológico intermediário e o de menor potencial fisiológico.

O teste de frio (Tabela 1) possibilitou a classificação das sementes dos lotes 1 e 4 como sementes de maior potencial fisiológico e das sementes do lote 2 como de menor potencial fisiológico. Houve semelhança de potencial fisiológico entre o lote 3 e os lotes 1 e 4, considerados de maior potencial fisiológico e outra semelhança de potencial fisiológico entre o lote 5 e o lote 2, considerado como de menor potencial fisiológico, o que demonstrou que os lotes 3 e 5 não são, seguramente, caracterizáveis como lotes de potencial fisiológico intermediário.

Comparada aos métodos tradicionais (Tabela 1) foi notada a similaridade da sensibilidade da análise via processamento (Tabela 2), respondendo pela caracterização e separação de lotes com potenciais fisiológicos distintos.

Cabe destacar que o menor coeficiente de variação dentre as três medições propostas (Tabela 2), foi observado na medição do comprimento usual, com auxílio do processamento de imagens digitais, sendo que a menor complexidade do esqueleto obtido com a transformação das plântulas explica a aproximação mais precisa feita pelos

TABELA 1. Qualidade das sementes dos cinco lotes analisados, avaliada inicialmente, onde se observa: teor de água (TA), teste de germinação (TG), condutividade elétrica (CE), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio (TF).

Lote	TA (%)	TG (%)	EA (%)	CE (mho.cm ⁻¹ .g ⁻¹)	TF (%)
1	9,0 a*	99,5 a	98,5 a	8,73 a	96,0 a
2	8,9 a	99,5 a	82,5 b	14,75 c	82,5 c
3	9,0 a	96,5 a	90,0 ba	11,87 b	93,5 ba
4	9,1 a	96,5 a	90,5 ba	12,83 b	95,5 a
5	8,9 a	98,8 a	88,5 ba	13,14 bc	84,5 bc
CV (%)	0,89	1,55	6,36	5,57	7,09

*Médias, nas colunas, seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

cálculos durante a contagem de “pixels” em relação à medição da plântula inteira.

No procedimento com medição não usual de plântulas

TABELA 2. Qualidade das sementes dos cinco lotes analisados, avaliada pelo teste de crescimento de plântulas, onde se observa: CRPm (coleóptilo mais a maior raiz via medição manual), CRPp (coleóptilo mais a maior raiz via processamento), CSRp (coleóptilo mais sistema radicular via processamento).

Lote	CRPm (cm)	CRPp (cm)	CSRp (cm)
1	19,57 a *	19,68 a	35,82 a
2	17,68 b	17,58 b	30,78 b
3	18,11 ba	18,34 ba	33,46 ba
4	17,82 ba	18,57 ba	32,64 ba
5	17,02 b	17,66 b	31,92 b
CV (%)	5,24	4,79	5,76

*Médias, nas colunas, seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

inteiras foi observado o maior coeficiente de variação dentre as três propostas de medição (Tabela 2). Tal fato pode ser resultante da maior complexidade dos esqueletos formados, pois algumas conexões de raízes muito próximas são, às vezes, remontadas próximo ao eixo de conexão como um único eixo conectado, advindo daí uma menor sensibilização para os cálculos durante a contagem de “pixels” e uma aproximação menos precisa.

Quando as respostas obtidas nos conjuntos de testes A (Tabela 3) e B (Tabela 4) foram comparadas após a sua classificação estatística por critério de pontuação em relação ao desempenho médio (pontuação geral nula), pôde-se hierarquizar os lotes 1 e 4 como de maior potencial fisiológico, os lotes 2 e 5 como de menor potencial fisiológico e o lote 3 como de potencial fisiológico intermediário.

A classificação estatística por pontuação nos conjuntos A e B teve sua inter-relação demonstrada pela taxa de coincidência de 80% (Tabela 4) segundo o desempenho geral dos lotes em todos os testes realizados, significando que com as propostas de medição manual (CRPm) e via análise de

TABELA 3. Classificação estatística do conjunto A formado pela pontuação dos testes usuais pontuação geral, formação de grupos SPM (Superior ao Médio), IM (Inferior ao Médio) e M (Médio = pontuação nula), divisão em classes de potenciais fisiológicos (PFMaior, PFMenor e PFIntermediário, onde se observa: condutividade elétrica (CE), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio (TF).

Lote	CE	EA	TF	Pontuação Geral	Grupo M=0	Classe
1	4+0= 4*	1+0= 1	2+0= 2	7	SPM	PFMaior
2	0+(-3)= -3	0+(-1)= -1	0+(-3)= -3	-7	IFM	PFMenor
3	1+(-1)= 0	0+0= 0	0+0= 0	0	M	PFInterm
4	1+(-1)= 0	0+0= 0	2+0= 2	2	SPM	PFMaior
5	0+(-1)= -1	0+0= 0	0+(-1)= -1	-2	IFM	PFMenor

*((número de lotes estatisticamente inferiores + (-número de lotes estatisticamente superiores) = pontuação total para cada lote)).

TABELA 4. Classificação estatística do conjunto B e contagem do número de lotes pertencentes ao mesmo grupo para os conjuntos de testes A e B com o cálculo da taxa de coincidência (TC*), onde se observa: CRPm (coleóptilo mais a maior raiz via medição manual), CRPp (coleóptilo mais a maior raiz via processamento), CSRp (coleóptilo mais sistema radicular via processamento).

Lote	CRPm	CRPp	CSRp	Pontuação Geral	Grupo M=0	Classe	Conjuntos A e B (presença no mesmo grupo)
1	2+0= 2**	2+0= 2	2+0= 2	6	SPM	PFMaior	1
2	0+(-1)= -1	0+(-1)= -1	0+(-1)= -1	-3	IFM	PFMenor	1
3	0+0= 0	0+0= 0	0+0= 0	0	M	PFInterm	1
4	0+0= 0	0+0= 0	0+0= 0	0	M	PFInterm	0
5	0+(-1)= -1	0+(-1)= -1	0+(-1)= -1	-3	IFM	PFMenor	1
Total: 4							
TC=4.5 ⁻¹ =80%							

*(TC = número de lotes presentes no mesmo grupo . número total de lotes⁻¹ . 100).

**((número de lotes estatisticamente inferiores + (-número de lotes estatisticamente superiores) = pontuação total para cada lote).

imagens digitais (CRPp e CSRp), chega-se a resultados 80% coincidentes com os resultados obtidos pelos usuais testes de condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e frio.

Pela classificação estatística, verifica-se que o lote 4 não está presente num mesmo grupo (Tabela 4), quando relacionados os conjuntos A e B, oscilando entre o maior potencial fisiológico e o potencial fisiológico intermediário.

Atendo-se ao método proposto, é de suma importância o uso do conceito de banco de imagens, para organizar os arquivos produzidos e os procedimentos aplicados, sugerindo-se que primeiramente seja criado o banco, via captação, e na seqüência sejam colhidos os resultados, via processamento.

Após o acesso à imagem, os dados de comprimento de cada imagem são obtidos com tempo aproximado de processamento de três segundos. A velocidade de processamento após o estabelecimento de um banco de quatrocentas imagens digitais, com duzentas provenientes de plântulas íntegras e mais duzentas de plântulas só com suas maiores raízes, que ao rigor do experimento portavam cerca de cinco plântulas cada, totalizando aproximadamente dois mil indivíduos, mostrou que o método de análise digital apresenta alta performance.

Em termos práticos, o processamento de um banco de imagens supera pela rapidez uma avaliação manual, além de assegurar que um mesmo lote possa ser novamente processado, com um mesmo padrão de avaliação, em caso de dúvidas na sua análise.

Por meio da comparação dos comprimentos processados pela computação gráfica com os comprimentos obtidos manualmente, verifica-se que o método digital viabiliza análises dimensionais apuradas, com possibilidades de ajustes no procedimento para análises de plântulas de outras espécies.

CONCLUSÃO

A técnica digital possibilita a associação dos dados obtidos no processamento das imagens a eventuais diferenças de vigor existentes em lotes de sementes de milho, de maneira similar a outros métodos destinados à avaliação do vigor de sementes da referida espécie.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela sua ampla

contribuição para a evolução da pesquisa brasileira em tecnologia de sementes.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 1983. 93p.
- BARROS, A.S.R.; DIAS, M.C.L.L.; CICERO, S.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.5, p.1-15.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- CICERO, S.M.; HEIJDEN, G.W.A.M.; BURG, W.J.; BINO, R.J. Evaluation of mechanical damages in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.26, n.3, p.603-612, 1998.
- DELOUCHE, J.C. Observaciones sobre deterioración de semillas. **Semillas**, Cali, v.1, n.1, p. 8-11, 1976.
- EDJE, O.T.; BURRIS, J.S. Physiological and biochemical changes in deteriorating soybean seeds. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, Lincoln, v.60, p.158-166, 1970.
- GUNASEKARAN, S.; COOPER, T.M.; BERLAGE, A.G. Evaluating quality factors of corn and soybeans using a computer vision system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n.4, p.1264-1271, 1988.
- KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de comprimento de raiz de plântulas de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.2, n.1, p.11-14, 1991.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; MIRANDA, Z.F.S. Relatório do comitê de vigor da ABRATES. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.1, n.1, p.7-25, 1990.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.1, n.2, p.15-50, 1991.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.3, p.1-24.
- MARTINS, L.; SILVA, W.R. Interpretação de dados obtidos em testes de vigor, realizados em laboratório e em campo, para a comparação qualitativa entre lotes de sementes de milho. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 19, 2004, Asunción. **Conferencias y resumos de trabajos presentados**. Asunción: FELAS, 2004. p.270.
- McDONALD T.; CHEN, Y.R. Application of morphological image processing in agriculture. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.4, p.1345-1352, 1990.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 59-65.
- SCOTT, D.J. Seed vigour. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.6, n.4, p. 905-906, 1978.

TEIXEIRA, E.F.; CICERO, S.M.; DOURADO NETO, D. Noções básicas sobre imagens digitais: captura, processamento e reconhecimento voltados para a pesquisa em tecnologia de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 13, n. 1, p.59-65, 2003.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.4, p.1-26.

VOOREN, J.G.; HEIJDEN, G.W.A.M. Measuring the size of french beans with image analysis. **Plant Varieties and Seeds**, Cambridge, v.6, n.47, p.47-53, 1993.

ZAYAS, I.; CONVERSE, H.; STEELE, J. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.5, p.1642-1646, 1990.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **Sistema de análise estatística para microcomputadores – SANEST**. Pelotas: UFPel, 1984. (Registro SEI 06606-0, Categoria AO).

