Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Utilização de técnicas de análise de imagens para avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de sorgo

Maicon Javorski

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2016

Maicon Javorski
Engenheiro Agrônomo

Utilização de técnicas de análise de imagens para avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de sorgo

Orientador:
Prof. Dr. **SILVIO MOURE CICERO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Javorski, Maicon
Utilização de técnicas de análise de imagens para avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de sorgo / Maicon Javorski. - - Piracicaba, 2016.
51 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Sorghum Bicolor* L. Moench 2. Raios X 3. Germinação 4. Análise computadorizada de plântulas I. Título

CDD 633.174
J41u

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A Deus pelo dom da vida, aos meus pais, Darci Leonardo Javorski e Leonira Martins Javorski, pelo apoio, paciência, carinho, amor que me ofereceram. Pela aprendizagem que venho adquirindo com vocês a cada dia, pelo exemplo de respeito, dedicação e compromisso. Tudo o que sou devo a vocês. Minha maior admiração, meus pais.

A minha irmã, Diandra Javorski, as minhas primas Keila Javorski e Carol Javorski, e toda a minha família que sempre foram parte especial da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e sua presença constante, por abençoar-me com saúde, paz e com a família que tenho.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP-ESALQ) pela oportunidade valiosa de realizar Pós-Graduação.

Ao Professor Silvio Moure Cicero, pela dedicada orientação, paciência, amizade, pelos momentos alegres oferecidos e inúmeros conhecimentos transmitidos que muito contribuíram para meu desenvolvimento profissional e pessoal. Muito obrigado pela confiança e oportunidade de tê-lo como meu orientador.

Aos professores Ana Dionísia da Luz Coelho Novembre e Julio Marcos Filho, pelos ensinamentos e amizade.

Ao Eng. Agr. Dr. Francisco Guilhien Gomes Junior pela grande contribuição na condução da pesquisa, pela aprendizagem constante, paciência e amizade.

À Helena M. C. P. Chamma, pela amizade, atenção, dedicação e apoio constante nas análises no Laboratório de Análise de Sementes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

À empresa Dow AgroSciences, pelo fornecimento das sementes.

Aos funcionários do laboratório e do campo, Hodair, Adilson, João, Erreinaldo, Ananias e Edson e secretários Luciene e Kaká.

Aos funcionários da Biblioteca Central da ESALQ, pelo atendimento e atenção prestada.

À Professora Ana Paula Mourais Mourão Simonetti pela valiosa orientação para minha formação acadêmica, pelos conhecimentos transmitidos, pelo incentivo, carinho e amizade.

À Bióloga Maria de Fátima Zorato pela excelente orientação profissional e que contribuiu grandiosamente para minha formação acadêmica e pessoal, pelo carinho e amizade.

Aos meus amigos que estiveram presentes na minha vida e contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, Adriana Bellemo, Aline Ferreira, Ana Dognini, Aline Neves, Bruna Longatti, Bruno Lena, Cibele Zacaroni, Crislaine Pinto, Denis Costa, Eder Fanaya, Jérssica Ferreira, Fabio Oliveira, Greice Leal, Haynna Abud, Henrique Brant, Iuri Dário, José Luiz, Letícia Wendt, Liz Rabelo, Lucas Capelaro, Luiz Felipe, Luiz Augusto, Marcela Freitas,

Márcio Blanco, Marcos Altomani, Maysa Siqueira, Norma Lazaretti, Nayara Gonçalves, Plinio Duarte, Rayssa Fernandes, Roberta Ferreira, Simone Silva e Victor Forti.

Agradecimentos especiais aos meus grandiosos amigos, Luanna Rinaldi, Otávio Netto, Natália Arruda, Perla de Oliveira, Luiz Sobenko, Danielle Castan, Clíssia Barboza, Césia Ester, Carina Oliveira, Sibelle Santana, Aparecida Faria, Josiane Moreno, Jakelinye Miranda, Thiago de Oliveira e Allan Patrick.

EPÍGRAFE

"Senhor! Fazei de mim um instrumento da vossa paz.
Onde houver ódio, que eu leve o amor.
Onde houver ofensa, que eu leve o perdão.
Onde houver discórdia, que eu leve a união.
Onde houver dúvidas, que eu leve a fé.
Onde houver erro, que eu leve a verdade.
Onde houver desespero, que eu leve a esperança.
Onde houver tristeza, que eu leve a alegria.
Onde houver trevas, que eu leve a luz.
Ó Mestre, fazei que eu procure mais:
consolar, que ser consolado;
compreender, que ser compreendido;
amar, que ser amado.
Pois é dando que se recebe.
É perdoando que se é perdoado.
E é morrendo que se vive para a vida eterna."

(Oração de São Francisco)

SUMÁRIO

RESUMO 11
ABSTRACT 13
1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
3 MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1 Teor de água 23
3.2 Germinação e primeira contagem de germinação 23
3.3 Envelhecimento acelerado 23
3.4 Teste de frio com terra 24
3.5 Emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia 24
3.6 Emergência de plântulas em campo 25
3.7 Avaliação da morfologia interna das sementes (raios X) 25
3.8 Análise computadorizada de imagens de plântulas SVIS® 26
3.9 Análise estatística 30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 31
4.1 Avaliação da morfologia interna das sementes 31
4.2 Vigor de sementes avaliado por meio de testes tradicionais e pelo sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas (SVIS®) 36
4.2.1 Primeira época 36
4.2.1.1 Teor de água, germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio, emergência de plântulas em campo, emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia 36
4.2.1.2 Análise computadorizada de imagens de plântulas (Seed Vigor Imaging System – SVIS®) 38
4.2.2 Segunda época 39
4.2.2.1 Teor de água, germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio, emergência de plântulas em campo, emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia. 39
4.2.2.2 Análise computadorizada de imagens de plântulas (Seed Vigor Imaging System – SVIS®) 41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 43
6 CONCLUSÕES 45
REFERÊNCIAS 47

RESUMO

Utilização de técnicas de análise de imagens para avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de sorgo

A análise de imagens com a utilização de raios X em sementes e análise computadorizada de plântulas são técnicas eficientes na avaliação da qualidade de sementes de diversas espécies, constituindo-se em métodos de rápida resposta, com metodologias de simples execução e reprodução. Assim, foi proposto com a presente pesquisa avaliar metodologias que visam relacionar a morfologia interna de sementes de sorgo com seu potencial fisiológico por meio da análise de imagens radiografadas de sementes e computadorizadas de plântulas. Para tanto, foram utilizadas sementes do híbrido 50A70, representado por dez lotes. O estudo foi realizado em duas etapas, em que a primeira consistiu no uso de imagens radiografadas para relacionar a morfologia interna das sementes e sua germinação e a segunda consistiu na avaliação do vigor das sementes por meio dos testes de primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, de frio, de emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia, emergência de plântulas em campo e o uso do sistema computadorizado de imagens de plântulas (“Seed Vigor Image System” – SVIS®) aos dois e três dias após a semeadura do teste de germinação, para detectar diferenças de vigor das sementes armazenadas durante quatro meses. Concluiu-se que o teste de raios X é eficiente na identificação de danos por deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos, possibilitando estabelecer a relação entre o dano observado e o prejuízo causado para a germinação. A análise computadorizada de plântulas aos três dias de idade é uma alternativa segura para detectar diferenças de vigor entre os lotes.

Palavras-chave: *Sorghum Bicolor* L. Moench; Raios X; Germinação; Análise computadorizada de plântulas

ABSTRACT

Using image analysis techniques for evaluation of internal morphology and vigor of sorghum seeds

Image analysis techniques using X-rayed seeds and computerized analysis of seedlings are considered efficient to evaluate the seed quality of various species, with a fast response and methodologies that are easy to implement and reproduce. Thus, this research aimed to evaluated methodologies that associate the internal morphology of sorghum seeds with their physiological potential via radiographed images of seeds and image processing of seedlings. Ten seed lots of the sorghum hybrid 50A70 were used in the study. The study was conducted in two phases; the first involved the utilization of radiographed images of seeds to associate their internal morphology with germination. The second consisted evaluation of vigor using first count germination, accelerated aging, cold test, emergence and speed of emergence in sand, seedling emergence in field and computerized seedling image analysis ("Seed Vigor Image System - SVIS®"), the seedlings were evaluated two and three days after sowing for the germination test, in order to detect variations in the seed vigor among the lots, during four months of storage. The results allowed to conclude that the X-ray test is effective in identifying damage tissue deterioration, mechanical damage, malformation damage and insect damage, enabling to establish a relationship between the observed damage and the negative effect on germination. Computerized analysis of three-day-old seedlings consists in a feasible method to detect differences in the seed vigor among the lots.

Keywords: *Sorghum Bicolor* L. Moench; X-ray; Germination; Computerized analysis of seedlings

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), pertencente à família Poaceae, é uma das plantas de grande interesse socioeconômico, devido ao seu potencial para a produção de grãos, forragem e álcool. Além disso, esta planta apresenta características agronômicas importantes, como a tolerância às altas temperaturas e déficit hídrico, podendo ser cultivada em todo território brasileiro. Dados da FAO (2015), atualizados até 2014, mostram que, com mais de 67 milhões de toneladas por ano, o sorgo é o quinto cereal mais produzido em todo o mundo, com os Estados Unidos e o México ocupando as primeiras posições na produção desse cereal.

A qualidade das sementes empregadas na semeadura de uma lavoura de sorgo é um dos cuidados iniciais que o produtor deve tomar para assegurar uma produtividade satisfatória.

O potencial fisiológico da semente expressa sua capacidade para desenvolver funções vitais, abrangendo germinação, vigor e longevidade. No processo de formação das sementes, o máximo potencial fisiológico é atingindo no campo, por ocasião da maturidade fisiológica.

Entre os métodos disponíveis para avaliar o potencial fisiológico das sementes, destacam-se os testes de germinação e de vigor. O teste de germinação, rotineiramente utilizado, possibilita a determinação do máximo potencial de germinação do lote de sementes. Porém, em campo, as condições nem sempre são favoráveis, fazendo com que o ocorram discrepâncias em relação aos resultados obtidos em laboratório. Portanto, os testes de vigor foram desenvolvidos com o objetivo de identificar possíveis variações no grau de deterioração das sementes que apresentam potencial germinativo semelhante, podendo assim, avaliar de maneira mais adequada a sua capacidade de armazenamento e emergência de plântulas em campo. Entretanto, para obtenção de informações consistentes relacionadas com este assunto, torna-se imprescindível a atuação da pesquisa em Tecnologia de Sementes, pois nos últimos anos tem apresentado consideráveis avanços com a automatização das avaliações e utilizações técnicas de análise de imagens de raios X e de análise de imagens computadorizada de plântulas.

De acordo com o exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar metodologias que visam relacionar a morfologia interna de sementes de sorgo com seu potencial fisiológico por meio da análise de imagens radiografadas de sementes e computadorizadas de plântulas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) pertencente à família Poaceae e subfamília Panicoideae (ACHEAMPONG; ANISHETTY; WIMAM, 1984) é originário das regiões tropicais da África e parte da Ásia. Esta espécie é caracterizada por plantas herbáceas anual, de porte alto (1,0 a 4,0 m), colmo ereto semilenhoso, podendo apresentar vários perfilhos por planta. As folhas são longas, unifoliadas contendo bainha e limbo sendo que o número total de folhas varia de 7 a 30. A inflorescência é do tipo panícula com uma ráquis central podendo atingir a altura entre 5 a 50 cm. O grão de sorgo tem o formato esférico com diâmetro que varia entre 4 a 8 mm (DICKO et al., 2006; MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2008).

O sorgo é o quinto cereal mais produzido do mundo, com uma produção total global relatada atualmente de mais de 67 milhões de toneladas por ano. Desde 2007, os Estados Unidos se tornou o maior produtor mundial, com 11 milhões de toneladas em 2014, sendo que o México e Nigéria surgem como segundo e terceiro maiores produtores, com cerca de 8 e 6 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2015).

As plantas de sorgo no Brasil foram introduzidas pelos escravos africanos na região nordeste, no início do século XIX. A partir dessa data, sua expansão foi lenta e o cultivo se expandiu por todo o país, somente na década de 1970 (MORGADO, 2005). Atualmente o cultivo é registrado em todas as regiões em uma área estimada de mais 850 mil hectares e com produção de mais de 2 mil toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2015).

O sorgo é uma planta que se destaca pela rusticidade, elevada produção de biomassa e grande tolerância às altas temperaturas e déficit hídrico. Essas características, associadas à sua grande eficiência energética, permitem o seu cultivo em zonas áridas e semiáridas, com produção em diferentes épocas e regiões, garantindo certa perenidade na oferta de matéria-prima, motivo que tem favorecido a expansão da área cultivada no Brasil, principalmente como alternativa de diversificação agrícola em regiões de baixa pluviosidade (FRANCO, 2011).

O sorgo pode substituir parcialmente o milho nas rações para aves e suínos e totalmente para ruminantes, com vantagem comparativa de menor custo de produção e valor de comercialização de 80% do preço do milho. Além disso, a cultura tem mostrado bom desempenho como alternativa para uso no sistema de integração entre lavoura e a pecuária e para produção de massa, proporcionando maior proteção do solo contra a erosão, maior

quantidade de matéria orgânica disponível e melhor capacidade de retenção de água no solo, além de propiciar condições para uso no plantio direto (RODRIGUES, 2007).

Dentre os cultivos de sorgo, variedades foram selecionadas não apenas para a produção de grãos (sorgo granífero), mas também para a produção de fibra (sorgo biomassa), forragem (sorgo forrageiro) e açúcar (sorgo sacarino). Entre os fatores limitantes da sua produtividade pode-se destacar a dificuldade de se obter sementes com elevada qualidade física, fisiológica, genética e sanitária, capazes de proporcionar o estabelecimento adequado de lavouras com populações de plantas uniformes e vigorosas (CARVALHO et al., 2000).

A planta de sorgo é muito frágil do estádio de emergência até os 20 dias de idade. Para se obter pronta e uniforme emergência das plântulas, é importante que a semeadura seja realizada de forma uniforme a uma profundidade de 3 a 5 cm (EMBRAPA, 2011). Durante a primeira fase de crescimento da planta é muito importante que a germinação, emergência e estabelecimento da plântula, ocorram em menor tempo possível (DINIZ, 2010).

É visível que para otimização do segmento sementeiro é imprescindível garantir a integração entre as etapas de produção, beneficiamento, análise e comercialização, por meio do conhecimento de todas as etapas necessárias para a produção de sementes de alta qualidade, bem como da forma de realizar e administrar, com eficácia, todas as atividades realizadas, com métodos e procedimentos adequados de execução, monitorização e verificação, controle do ambiente e segurança operacional (TILLMANN, 2006).

Para cultivos altamente tecnificados, a qualidade da semente é de fundamental importância, pois a utilização de sementes de boa qualidade pode prevenir problemas na lavoura e prejuízos financeiros decorrentes de desuniformidade e falhas na emergência de plântulas. Atualmente, com os benefícios advindos dos programas de melhoramento genético vegetal, a semente constitui-se no principal veículo transportador de toda a tecnologia agregada, o que exige mecanismos mais intensos de aferição da qualidade (ZORATO, 2005).

O ambiente no campo tem um efeito profundo sobre o potencial fisiológico das sementes. Temperaturas altas, chuvas frequentes e alta umidade, podem resultar em uma rápida e extensiva deterioração dos tecidos, causando baixa germinação e vigor de sementes na época da colheita. É importante ressaltar que, a temperatura e teor de água das sementes são os principais fatores que afetam a velocidade de deterioração (DELOUCHE, 2002).

Apesar dos avanços em tecnologia de produção e de desenvolvimento de novos híbridos que minimizam efeitos negativos do ambiente sobre a produção e qualidade, é essencial aumentar o entendimento de como as variáveis ambientais afetam o processo fisiológico que determinam a germinação e o vigor, já que a produção de sementes de sorgo

de baixo potencial fisiológico é um problema que a indústria de sementes se defronta a cada ano (VIEIRA, 1999).

No Brasil, a literatura sobre o armazenamento de sementes de sorgo por períodos mais longos é escassa e essas informações são importantes quando se deseja armazenar as sementes de uma safra para outra; assim, estudos sobre alterações na qualidade das sementes de sorgo durante o armazenamento, contribuirão para definir as condições para a preservação da qualidade das sementes (SOUZA SANTOS; SANTANA, 2009).

O processo de deterioração se inicia na maturidade fisiológica; no entanto, a deterioração é detectada com maior frequência durante o armazenamento. O declínio do potencial fisiológico com o transcurso do tempo não se restringe a diminuição da capacidade de germinação, mas esta vai ficando mais lenta, assim como se acentua a sensibilidade a adversidades ambientais, caracterizando a queda do vigor (MARCOS-FILHO, 2005).

A pesquisa em Tecnologia de Sementes tem revelado e discutido as limitações do teste de germinação; assim, tem-se estudado métodos que permitam avaliação mais consistente do potencial fisiológico de sementes (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA, 1983; INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION – ISTA, 1995).

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

Testes de vigor têm sido utilizados, principalmente, para identificar diferenças no desempenho de lotes de sementes, que podem se manifestar durante o armazenamento ou após a semeadura, procurando destacar lotes com maior eficiência para o estabelecimento do estande sob ampla faixa de condições ambientais (MARCOS-FILHO; KIKUTI; LIMA, 2009).

É de grande importância para a agricultura a utilização de técnicas eficientes para avaliação do vigor de sementes, pois possibilita a obtenção de estimativa mais segura do potencial fisiológico, com a identificação de diferenças significativas entre lotes com germinação similares. Diversas pesquisas com culturas de interesse agronômico têm sido realizadas de acordo com a classificação dos testes de vigor proposta por McDonald (1975).

Um dos requisitos básicos para a identificação de problemas associados com o potencial germinativo das sementes é a avaliação da sua morfologia interna. Para algumas espécies, como a soja e o milho, o conhecimento sobre a morfologia interna das sementes proporciona eficiente apoio aos programas de controle de qualidade, principalmente com a

utilização do teste de tetrazólio. Entretanto, para espécies ainda pouco exploradas pela pesquisa, a caracterização da morfologia interna das sementes, com a identificação das partes que as compõem, são fundamentais para a elucidação de dúvidas sobre a anormalidade de plântulas ou a presença de sementes não germinadas no teste de germinação (GOMES-JUNIOR, 2010).

Atualmente, o uso de imagens radiografadas de sementes e análise computadorizadas de imagens de plântulas têm possibilitado avanços na avaliação do potencial fisiológico de sementes. Tendo em vista que a inclusão de novas abordagens depende diretamente da pesquisa, a análise de imagens é uma alternativa para auxiliar o entendimento de diversos aspectos do desenvolvimento das sementes, permitindo o estabelecimento de relações entre a morfologia interna e a determinação do potencial fisiológico de um lote de sementes (MARCOS-FILHO et al., 2010).

As imagens radiografadas das sementes associadas às técnicas computadorizadas de imagens de plântulas visam aumentar a eficiência da análise de sementes, possibilitando sua introdução nos programas de controle de qualidade de empresas produtoras de sementes (GOMES-JUNIOR, 2010). Atualmente é possível utilizar técnicas de análise de imagens em programas de qualidade de sementes de milho (CICERO et al., 1998; CICERO; VAN DER SHCHOOR; JALINK, 2009), pimenta (DELL' AQUILA, 2007) pinhão-manso (PINTO et al., 2009), entre outras espécies.

É interessante adequar metodologias que visem à avaliação da morfologia interna das sementes, como o tamanho e formato do embrião, quantidade de material de reserva e danos internos nas sementes e que apresentem relação com o seu potencial fisiológico. O uso de raios X em sementes é vantajoso pelo fato de não comprometer a viabilidade das sementes, possibilitando a realização de testes adicionais com as mesmas sementes (BINO; AARTSE; JBURG, 1993; ISTA, 1995). A avaliação da morfologia interna de sementes é imprescindível tanto para a caracterização de espécies pouco estudadas quanto para a melhoria da qualidade de lotes de sementes, no que se diz respeito ao seu atributo físico e fisiológico, visto que a informação sobre a existência de sementes com danos é desejável porque pode influenciar nos resultados de germinação. A continuidade da pesquisa no intuito de estabelecer relações entre a morfologia interna das sementes e o potencial fisiológico por meio desta técnica é uma importante iniciativa que poderá trazer informações significativas para a evolução do conhecimento dirigido para o controle de qualidade de sementes (GOMES-JUNIOR, 2010).

Com o objetivo de avaliar o vigor de sementes, McCormac, Keffe e Draper (1990) talvez tenham sido os primeiros a utilizar a análise computadorizada de imagens de plântulas, determinando o comprimento da raiz primária de plântulas de alface e de cenoura.

A *Ohio Crop Improvement Association*, Entidade Certificadora de Sementes no Estado de Ohio, EUA, realizando análises com imagens computadorizadas de plântulas (SVIS®) em sementes de soja, desenvolveu uma escala em que sementes de alto vigor originam índices de 800 a 1000 em plântulas com três dias de idade, enquanto plântulas de baixo vigor geram valores inferiores a 300 (MARCOS-FILHO, 2010). O procedimento para avaliação do vigor de sementes por meio do SVIS® é simples e rápido. O tempo necessário para gerar um índice de vigor a partir de imagens de plântulas com três dias de idade é menor que o requerido para executar o teste manualmente (HOFFMASTER et al., 2005). De acordo com Gomes-Junior et al. (2009), trabalhando com sementes de milho doce, os resultados para uma amostra de 50 sementes podem ser obtidos de dois a três minutos após a obtenção das plântulas. Outras vantagens desse sistema incluem a eliminação do erro humano, aumentando a confiabilidade dos dados para fins de comparação e a possibilidade de arquivamento das imagens para análise posterior.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos experimentais foram desenvolvidos nos Laboratórios de Análise de Semente e de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, São Paulo.

Foram utilizadas sementes de sorgo granífero do híbrido 50A70, provenientes de dez lotes, sendo que estas haviam sido tratadas com os inseticidas K'Obiol (deltametrina) e Actellic (pirimifós-metil), o fungicida Maxim XL (fludioxonil e mefenoxam) e o adjuvante Agral (nonil fenoxi poli (etilenoxi) etanol), nas dosagens comercialmente utilizadas para sementes de sorgo.

3.1 Teor de água

O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa a 105± 3 °C, por 24 horas, utilizando-se duas subamostras de 5,0 g de sementes para cada lote (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem.

3.2 Germinação e primeira contagem de germinação

O teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 50 sementes por lote, distribuídas em folhas de papel-toalha, umedecidas com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidas em germinador a 25 °C. As contagens das sementes germinadas foram avaliadas aos quatro (primeira contagem de germinação) e aos sete dias após a semeadura (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais para cada lote.

3.3 Envelhecimento acelerado

Realizado mediante a distribuição de amostras de sementes, em camada única, sobre uma tela suspensa no interior de uma caixa plástica (11 cm x 11 cm x 3 cm) contendo 40 mL de água. Em seguida, as caixas foram mantidas em câmera B.O.D. regulada a 42 ^{o}C, durante 96 horas (MARCOS-FILHO, 1999). Após esse período, foi conduzido o teste de germinação,

conforme descrito no item 3.2, os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais para cada lote.

3.4 Teste de frio com terra

Conduzido com quatro repetições de 50 sementes de cada lote, utilizando-se caixas plásticas (47 cmx30 cm x11cm) contendo mistura de areia e terra (2:1), irrigada a 60% da sua capacidade de retenção de água. Após a semeadura as caixas permaneceram sete dias em câmara fria a 10 ^{o}C e mais sete dias em condições de ambiente não controlado, procedendo-se, então, a avaliação e o cálculo da porcentagem de plântulas emersas (MARCOS-FILHO; CICERO; SILVA, 1987; CICERO; VIEIRA 1994).

3.5 Emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia

Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes de cada lote, distribuídas na superfície de uma camada de 5 cm de areia colocada em caixas de plástico (32 cm x 28 cm x 10 cm). Após a semeadura, a cobertura foi efetuada com uma camada de 0, 3 cm de areia. O umedecimento do substrato foi efetuado com quantidade de água correspondente a 60% da capacidade de retenção e, as caixas, mantidas em casa de vegetação. As avaliações foram feitas diariamente, registrando-se o número de plântulas emersas para cada lote até a estabilização, quando foi determinada a porcentagem média de emergência de plântulas para cada lote. Para obtenção da velocidade de emergência de plântulas, calculou-se o índice de acordo com a eq. (1) proposta por Maguire (1962).

$$IVE=\frac{N1}{D1}+\frac{N2}{D2}+\ldots+\frac{Nn}{Dn} \qquad \textbf{(1)}$$

em que:

IVE - índice de velocidade de emergência de plântulas;

N1, N2,..., Nn - número de plântulas emersas na primeira, segunda, e até a ultima contagem, respectivamente;

D1,D2,..., Dn - número de dias desde a primeira, segunda, até a ultima contagem.

Aos 7 dias após a semeadura o teste foi concluído, computando-se, também, a porcentagem média de emergência de plântulas para cada lote.

3.6 Emergência de plântulas em campo

Utilizou-se quatro repetições de 50 sementes, cada uma representada por um sulco de 2 m de comprimento e espaçado em 40 cm, onde as sementes foram distribuídas de maneira equidistante; os sulcos apresentavam cerca de 5 cm de profundidade e a cobertura efetuada com, aproximadamente, 3 cm de terra. As plântulas foram irrigadas por aspersão, mantendo-se o solo em capacidade de campo. Ao final do décimo quarto dia após a semeadura, registrou-se o número de plântulas emersas, obtendo-se valores médios por lote (NAKAGAWA, 1999).

3.7 Avaliação da morfologia interna das sementes (raios X)

O teste foi realizado com oito repetições de 25 sementes, de cada lote. As sementes foram colocadas em fita adesiva dupla face transparente para fixar as sementes em posição adequada (todas as sementes foram posicionadas com o eixo embrionário voltado para baixo), sobre uma folha de acetato transparente (210 mm x 297 mm) e numeradas de acordo com a posição ocupada na folha, para sua identificação no momento da instalação do teste de germinação. A folha contendo as sementes foi colocada no interior de um equipamento digital "Faxitron X-Ray", modelo MX-20 DC-12, a uma distância de 14,3 cm da fonte de emissão de raios X, considerada neste estudo por meio de testes preliminares a distância mais adequada para identificação das partes das sementes. As imagens radiografadas foram salvas em pasta específica do disco rígido do computador. Após a radiografia, as sementes (de cada repetição), previamente identificadas e numeradas, foram colocadas para germinar em papel-toalha, sendo distribuídas em duas fileiras, no terço superior do substrato, para permitir o desenvolvimento das plântulas de maneira individualizada.

Após permanência de quatro dias em germinador a 25 ºC, as plântulas (normais e anormais) e as sementes mortas foram fotografadas com o auxílio de uma câmera Sony (DSC-W530) utilizando papel azul quadriculado no fundo para obtenção de imagens com maior contraste. Para aquisição de imagens de alta qualidade foi utilizada a mesma câmera acoplada a um estereomicroscópio com fundo branco para melhor detalhamento das sementes. As imagens foram armazenadas no computador para serem analisadas juntamente com as imagens de raios X e, assim, permitir relacionar as alterações na morfologia interna das sementes (danos por deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos) com os possíveis prejuízos causados à germinação. Os resultados foram

analisados de forma comparativa, procurando relacionar os danos detectados na análise de imagens (sementes individuais) com as possíveis anormalidades das plântulas ou sementes mortas.

A porcentagem de sementes com danos foi determinada após a radiografia das sementes; precedeu-se a identificação individual das sementes, que provavelmente apresentariam o desempenho comprometido, devido ao possível dano identificado na imagem. Os danos inicialmente visualizados nos raios X associados com a geração de sementes mortas e plântulas anormais foram contabilizados quanto à ocorrência de danos por deterioração, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos. Os resultados foram expressos em porcentagem de danos totais por lote e a contribuição de cada dano dentro do total de danos por lote.

3.8 Análise computadorizada de imagens de plântulas SVIS®

As plântulas foram obtidas de oito repetições de 25 sementes para cada lote, colocadas para germinar em duas fileiras situadas no terço superior da superfície do papel toalha, a 25 ºC, durante dois e três dias de germinação para verificar a idade das plântulas mais apropriadas para a análise. Transcorrido o período da germinação, as plântulas de cada repetição foram transferidas do papel toalha para uma folha de cartolina de coloração preta com 30 cm x 22 cm e colocada sobre a plataforma interna da caixa metálica. Em seguida, as imagens foram captadas no escâner (HP, modelo Scanjet 2410), instalado de maneira invertida no interior de uma caixa de alumínio com 60 cm x 50 cm x 12 cm. Para escolha da resolução das imagens, optou-se a digitalização a 100dpi, como utilizado em plântulas de milho doce (ALVARENGA; MARCOS-FILHO; GOMES-JUNIOR, 2012).

As imagens escaneadas foram salvas em computador e, em seguida, analisadas no *software* “Seed Vigor Imaging System” (SVIS®) desenvolvido por Sako et al. (2001). Nessa análise, o eixo raiz-plúmula de cada plântula foi marcado em vermelho. No entanto, foram necessárias correções manuais, realizadas com auxílio do ‘mouse’, para as partes das plântulas. Após a análise e avaliação de cada plântula, o *software* gera automaticamente valores numéricos referentes a um índice de vigor (valores de 0 a 1000, diretamente proporcionais ao vigor) e à uniformidade de desenvolvimento (também de 0 a 1000). Os valores do índice de vigor (Figura 1) são baseados na rapidez e uniformidade de desenvolvimento das plântulas da amostra, em relação ao máximo valor possível para

plântulas com dois e três dias de idade, parâmetros estabelecidos na programação do *software* (HOFFMASTER et al., 2003).

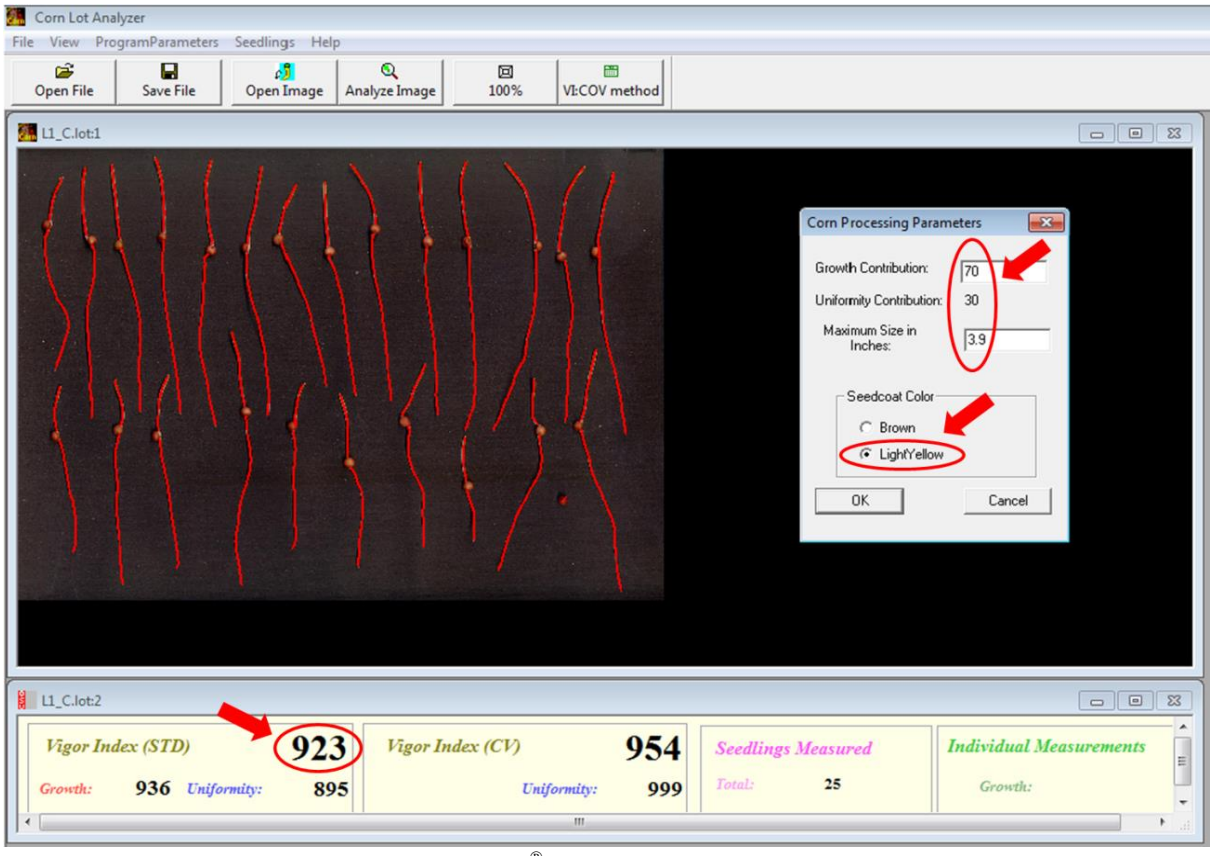

Figura 1 – Imagem analisada no *software* SVIS® de uma amostra de plântulas de sorgo, híbrido 50A70, com indicação do *ProgramaParametes*, onde é ajustado o tamanho máximo de plântulas com três dias deidade (3,9 polegadas), a proporção entre o crescimento (70) uniformidade (30) para o cálculo do índice de vigor (923) e comprimento de plântulas (em pixels). Utilizou-se também a opção LigthYellow para melhor identificação das partes das plântulas

A uniformidade é estabelecida em função do desvio em relação ao desenvolvimento padrão de plântulas com dois e três dias de idade, também programado no *software*. Depois de computados esses valores, o cursor é posicionado sobre cada plântula e acionado, indicando automaticamente o valor correspondente ao comprimento da plântula demarcada em pixels (Figura 2). Após a tabulação, os resultados foram transformados para cm, considerando-se que um pixel corresponde a 0,0254 cm.

Figura 2 – Imagem analisada no *software* SVIS® de uma amostra de plântulas de sorgo, híbrido 50A70, com indicação de marcação do eixo raiz-plúmula (em azul), uniformidade de desenvolvimento (895) e comprimento individual da plântula em pixels (individual measurements, 326)

Além das avaliações citadas, o *software* também identifica a presença de sementes não germinadas na amostra, sendo estas marcadas em verde no programa, como apresentado na Figura 3. A presença de sementes não germinadas é um dos principais motivos atribuídos aos menores índices obtidos na avaliação.

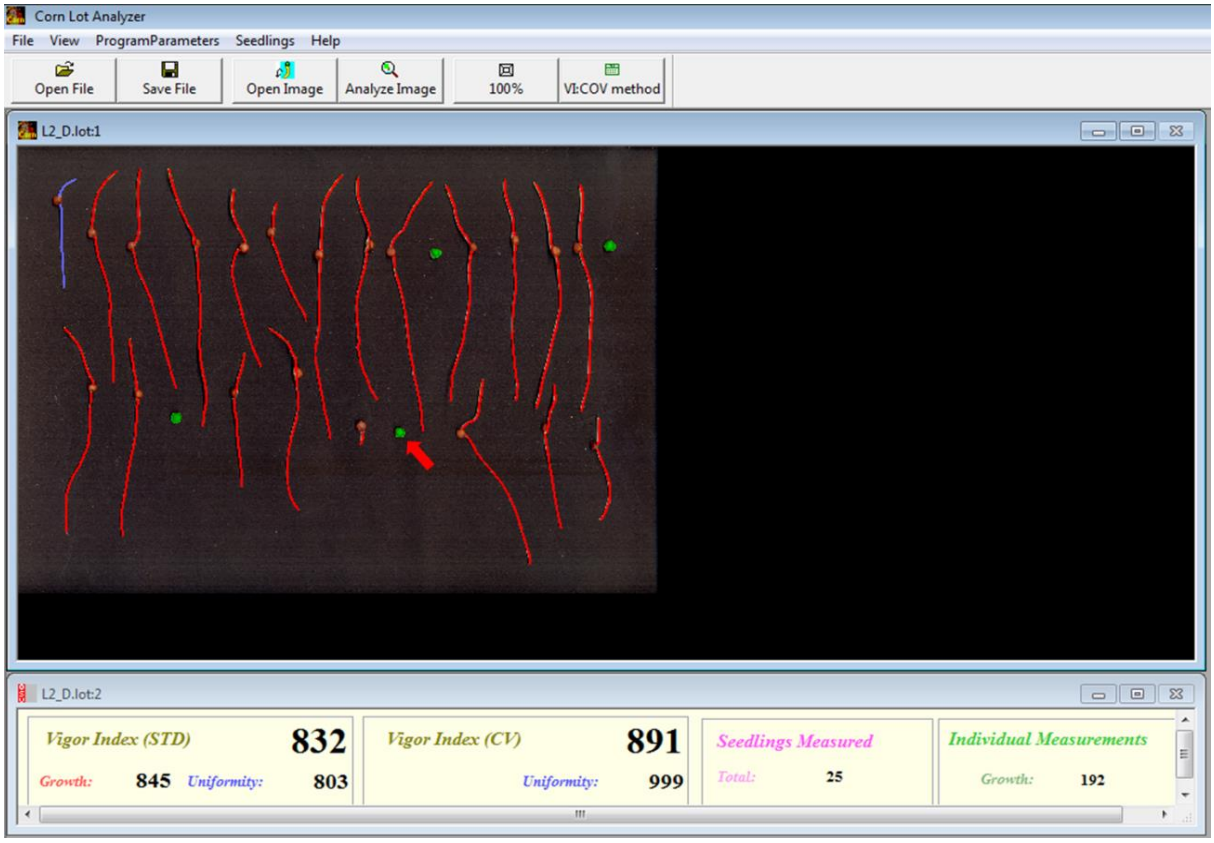

Figura 3 – Imagem analisada no *software* SVIS® de uma amostra de plântulas de sorgo, híbrido 50A70, com indicação da marcação semente não germinada (em verde)

Nas configurações do SVIS®, os valores para o tamanho máximo de plântulas de sorgo do híbrido 50A70 foram estabelecidos preliminarmente, ou seja, duas polegadas (5,8 cm) para plântulas com dois dias de idade e quatro polegadas (10,16 cm) para plântulas com três dias de idade. Para composição do índice de vigor foi utilizado a seguinte composição: IV 70/30 ={(0,7 x IC) + (0,3 x IU)} (Figura 1). De acordo com Sako et al. (2001), com base no crescimento das plântulas, o *software* calcula índices de crescimento e de uniformidade, esses valores são diretamente proporcionais ao vigor das sementes. A uniformidade de desenvolvimento é um parâmetro avaliado com base na comparação do crescimento de plântulas com o máximo crescimento esperado para cada espécie durante o período da duração do teste.

As avaliações de germinação e de vigor de sementes no *software* SVIS® e demais testes tradicionalmente utilizados para a avaliação do vigor de sementes de sorgo, foram realizados em duas épocas com intervalos de quatro meses. Durante o período experimental as sementes ficaram armazenadas em embalagem porosa em ambiente não controlado.

3.9 Análise estatística

A análise dos resultados provenientes do teste de raios X não foi realizada estatisticamente. O número de ocorrência de danos nas sementes e o total de plântulas normais, anormais e sementes mortas foram calculados em percentuais em relação à amostra de 200 sementes por lote. A interpretação dos resultados de raios X foi confrontada com as imagens fotográficas de plântulas ou das sementes mortas provenientes no teste de germinação.

Para os resultados obtidos pela análise com auxilio do *software* SVIS® e demais testes tradicionalmente utilizados para avaliação do vigor das sementes, realizou-se a análise estatística dos dados por meio do delineamento experimental inteiramente casualizado, com exceção dos dados de emergência de plântulas em campo, analisados segundo delineamento blocos ao acaso, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) com auxílio do programa Assistat.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da morfologia interna das sementes

O teor de água das sementes variou de 9,4 a 10,5% (Tabela 1). De acordo com Simak (1991), o teor de água das sementes influencia diretamente na densidade ótica; assim, quanto menor o teor de água, maior a densidade ótica, o que possibilita melhor visualização das partes internas das sementes radiografadas.

Tabela 1 – Resultados do teor de água (%) dos dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70

Lotes	Teor de água (%)
1	9,8
2	9,7
3	9,8
4	10,5
5	9,7
6	9,4
7	9,6
8	9,6
9	9,9
10	10,0

Para as sementes de sorgo, os teores de água entre 9,4 e 10,5%, mostraram-se adequados para visualização do eixo embrionário, do endosperma e do pericarpo (Figura 4). Em estudos realizados com análise de raios X em sementes de arroz (MENEZES; CICERO; VILLELA, 2012; SILVA et al., 2014), milho doce (GOMES-JUNIOR; CICERO, 2012), soja (FORTI; CICERO; PINTO, 2010; PINTO; CICERO; FORTI, 2007; PINTO et al., 2009; WENDT et al., 2014), feijão (MONDO et al., 2009), feijão-caupi (FORTI; CICERO; PINTO, 2008; MELO et al., 2010) e abóbora (SILVA et. al., 2014) foi possível visualizar as partes das sementes com teores de água entre 6,5 e 13%. Além disso, é importante ressaltar que cada espécie possui suas características específicas de densidade e composição química e estes fatores podem interferir consideravelmente na visualização das partes das sementes radiografadas.

Outra observação relevante é a necessidade do conhecimento da morfologia interna das sementes a serem estudadas, sendo de grande importância localizar e identificar corretamente suas partes. Na mesma linha de raciocínio, a identificação correta dos danos nas sementes permite, de forma segura, a avaliação da porcentagem de ocorrência destes presentes nas sementes.

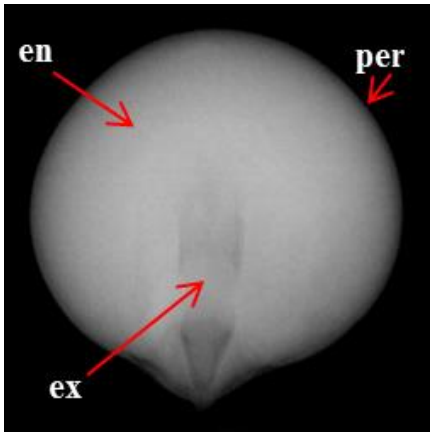

Figura 4 – Identificação das partes da semente de sorgo pelo teste de raios X: pericarpo (per), endosperma (en) e eixo embrionário (ex)

Pela Tabela 2, pode-se verificar que as sementes apresentaram vários tipos de danos, entre eles, danos por deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos, os quais proporcionaram prejuízo à germinação das sementes, uma vez que os danos que atingiram o eixo embrionário resultaram em plântulas anormais ou em sementes mortas.

Tabela 2 - Porcentagem de ocorrência de sementes com danos totais (DT), danos por deterioração de tecidos (DD), danos mecânicos (DM), danos por malformação (MF), danos por insetos (DI), plântulas normais (PN), plântulas anormais (PA) e sementes mortas (SM) de dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70

Lotes	DT	DD	DM	MF	DI	PN	PA	SM
	----------	----------	----------	%	----------	----------	----------	----------
L1	4,0	2,5	1,5	0,0	0,0	93,5	4,0	2,5
L2	4,0	2,5	1,0	0,5	0,0	92,5	4,5	3,0
L3	4,5	3,0	1,5	0,0	0,0	91,0	7,0	3,0
L4	7,0	5,0	1,5	0,5	0,0	92,0	6,0	2,0
L5	11,0	8,0	2,0	0,5	1,0	90,0	4,5	5,5
L6	10,5	10,0	0,0	0,0	0,5	85,5	9,5	6,0
L7	13,5	11,0	1,5	0,5	0,5	85,0	6,0	9,0
L8	13,5	12,5	1,0	0,0	0,0	82,0	9,5	8,5
L9	15,0	11,5	0,0	1,5	2,0	77,5	15,0	7,5
L10	16,5	14,5	0,0	0,5	1,5	77,0	14,0	9,0

Na Tabela 2 é possível verificar que os lotes 1, 2, 3 e 4 que apresentaram os menores danos totais (4 a 7%) foram os mesmos com os maiores valores de plântulas normais (acima de 90%). Por outro lado, os lotes 5, 6, 7 e 8 apresentaram danos totais intermediários (10,5 a 13,5%) e percentual de germinação entre 82 a 90%, ao passo que os lotes 9 e 10, com danos totais entre 15 a 16,5% deram origem aos menores percentuais de plântulas normais (77,5 a 77%). Desta forma, pode-se inferir que na medida em que houve aumento do percentual de danos totais, houve diminuição na porcentagem de plântulas normais. Pode-se ainda afirmar que o dano por deterioração foi o maior responsável pela perda de germinação das sementes, como pode ser evidenciado nos lotes 9 e 10, os quais apresentam, respectivamente, 11,5 e 14,5% de ocorrência do referido dano.

A baixa porcentagem de sementes com danos nos lotes 1, 2, 3 e 4 indica que as sementes destes lotes foram produzidas e beneficiadas adequadamente, especialmente considerando que nem todas as plantas de sorgo florescem ao mesmo tempo (MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2008), o que provoca desuniformidade na maturação das sementes, com reflexos negativos no seu potencial fisiológico.

Nas Figuras 5A, 6A e 6C podem ser observados danos por deterioração de tecidos; estes são caracterizados por apresentarem, nas imagens, manchas escuras nos tecidos. Os tecidos deteriorados apresentam baixa densidade de tecidos e oferecem menor resistência à

passagem dos raios X, promovendo assim o escurecimento da imagem. O dano localizado na região da radícula (Figura 5A) originou uma plântula com apenas a parte aérea desenvolvida (Figura 5B). Por outro lado, quando a deterioração ocorreu na região da plúmula (Figura 6A) e em maior extensão no eixo embrionário (Figura 6C), provocou a morte das sementes (Figuras 6B e 6D). Como pode ser observado, houve relação entre o dano por deterioração de tecidos com a mortalidade de sementes (Tabela 2). Este dano muitas vezes é decorrente de condições adversas de ambiente encontradas no campo após a semente atingir o ponto de maturidade fisiológica e, em outros casos, pode ser ocasionado pela incidência de fungos.

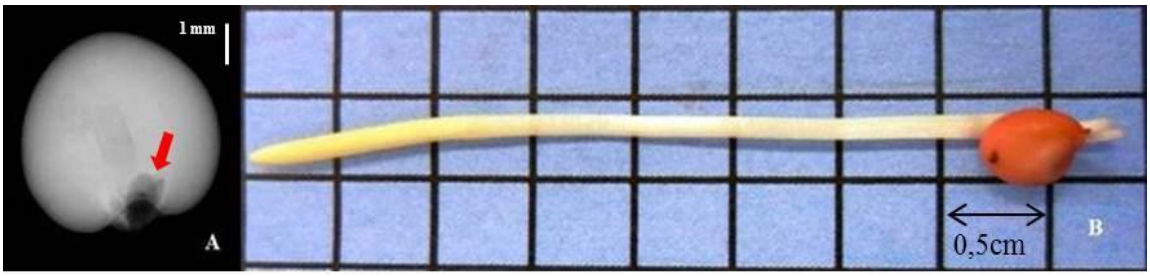

Figura 5 – Imagem radiográfica de semente de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano por deterioração de tecidos na região da radícula (A), originando uma plântula anormal (B)

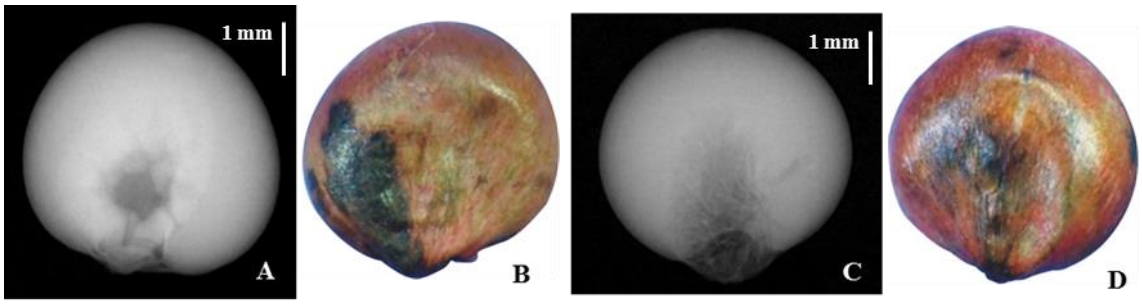

Figura 6 – Imagens radiográficas de sementes de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano por deterioração de tecidos na região da plúmula (A) e na maior parte do eixo embrionário (C), resultando em semente morta (B e D)

Quando os danos mecânicos ocorreram na parte superior do endosperma, estendendo-se para a região da plúmula, o desenvolvimento da parte aérea foi precário ou ausente. Observa-se na Figura 7A que a trinca incidiu na parte superior do endosperma e da plúmula, provocando o desenvolvimento de plântula anormal (Figura 7B) no teste de germinação. É interessante ressaltar que não houve ocorrência de danos mecânicos para os lotes 9 e 10, os quais apresentaram as menores porcentagens de plântulas normais e como enfatizado anteriormente, os danos causados por deterioração de tecidos foram os responsáveis pela maior perda de germinação dos referidos lotes.

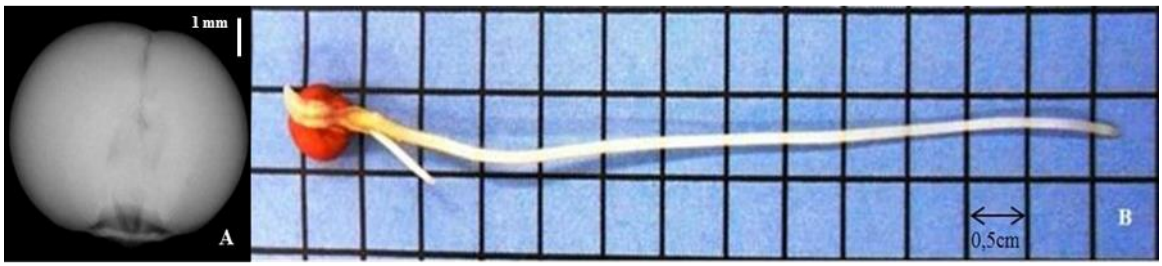

Figura 7 – Imagem radiográfica de semente de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano mecânico na parte superior do endosperma estendendo-se para a região da plúmula (A), originando uma plântula anormal (B)

Na Figura 8A observa-se dano por malformação do eixo embrionário e dano por deterioração de tecidos na parte superior do endosperma. A ocorrência de danos por malformação não passou de 1,5% e quando associado a porcentagens elevadas de dano por deterioração de tecidos, como verificado nos lotes 9 e 10 (Tabela 2), resultaram em maior quantidade de plântulas anormais (Figura 8B) e em sementes mortas. Já para o dano por inseto (Figura 8C), pode-se observar comprometimento de boa parte da semente, incluindo o eixo embrionário, resultando em semente morta (Figura 8D).

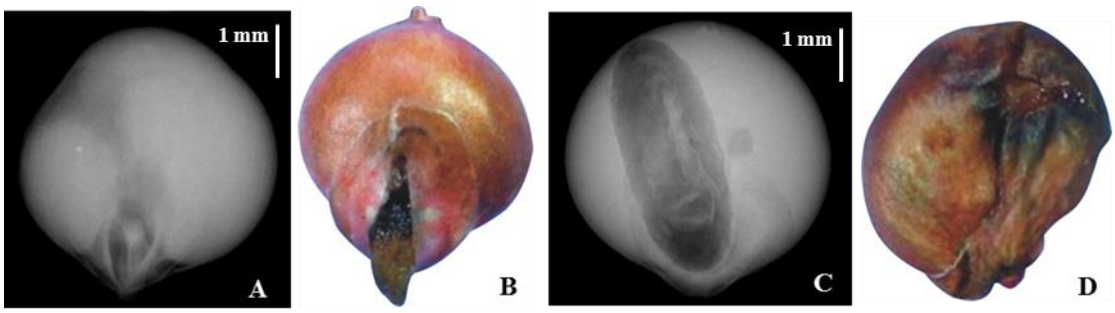

Figura 8 – Imagens radiográficas de sementes de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano por malformação (A) e dano por inseto (C), resultando em plântula anormal (B) e em semente morta (D)

A detecção de sementes com danos por deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos, constatados no teste de raios X, podem contribuir para seleção de lotes em programas de controle de qualidade e, consequentemente, aumentar a eficiência do sistema de produção (ISTA, 2004).

As imagens apresentadas neste estudo demonstram claramente que o teste de raios X é um procedimento importante para a avaliação de danos por deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos em sementes de sorgo, possibilitando estabelecer a relação entre o dano e perda da germinação.

Assim, o teste de raios X em sementes de sorgo, identificou os danos internos não observados externamente nas sementes, corroborando com os autores que sugerira a utilização

da análise de imagens com o uso do raios X, para caracterizar e identificar danos internos em sementes (CARVALHO et al., 1999; CICERO et al., 1998; OBANDO-FLOR et al., 2004).

4.2 Vigor de sementes avaliado por meio de testes tradicionais e pelo sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas (SVIS®)

4.2.1 Primeira época

4.2.1.1 Teor de água, germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio, emergência de plântulas em campo, emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia

Na Tabela 3 são apresentados os dados das avaliações do potencial fisiológico dos dez lotes de sementes de sorgo. As sementes apresentaram teor de água inicial entre 9,4 e 10,5% e após o teste de envelhecimento acelerado esse valor variou entre 18,2 a 19,6%. Segundo Marcos-Filho (2005), o limite tolerável de variação entre as amostras é de até 2,0%, a fim de proporcionar confiabilidade dos resultados. É imprescindível mencionar esse parâmetro tendo em vista que sementes com maiores teores de água apresentam maior probabilidade de germinarem antecipadamente, comprometendo os resultados dos testes de vigor (SILVA; CICERO, 2014).

A porcentagem de germinação de sementes foi semelhante para todos os lotes, variando de 80 a 91%. Estes valores atendem aos padrões para comercialização de sementes de sorgo, onde o padrão mínimo de germinação exigido é de 80% (BRASIL, 2008). De acordo com Marcos-Filho (2015) o teste de germinação possibilita a obtenção do máximo potencial germinativo do lote de sementes, por ser realizado em condições controladas de ambiente; diante disso, a comparação do vigor entre lotes de sementes com germinação semelhante é recomendável, pois os testes de vigor detectam diferenças no potencial fisiológico entre lotes de sementes não detectadas no teste de germinação.

Nos testes de envelhecimento acelerado, teste de frio e emergência de plântulas em areia foram observadas diferenças entre os lotes; de maneira geral, os lotes 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram maior vigor e os lotes 6, 7, 8, 9 e 10 menor vigor; entretanto, o teste de primeira contagem de germinação, emergência de plântulas em campo e a velocidade de emergência de plântulas não apresentaram a mesma sensibilidade para detectar diferenças entre lotes. É importante destacar que os testes de vigor, apresentam princípios específicos de avaliação;

sendo assim, é importante a realização de diversos testes para que se possa avaliar, com segurança, o vigor das sementes. Reforçando a hipótese, o potencial fisiológico das sementes é um reflexo de um conjunto de características determinado pelos testes de germinação e de vigor, que identificam a sua capacidade de apresentar desempenho adequado quando as sementes são expostas a diferentes condições de ambiente (BHERING et al., 2006); portanto, a utilização destas informações permite, de maneira segura, verificar o comportamento das sementes, que influencia diretamente na tomada de decisões para seleção de lotes que apresentam alto e baixo vigor.

Tabela 3 – Resultados de germinação (G), primeira contagem de germinação **(**PCG), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), emergência de plântulas em campo (EPC), emergência de plântulas em areia (EMA), índice de velocidade de emergência de plântulas em areia (IVE), teor de água no início das avaliações (TA) e depois do teste de envelhecimento acelerado (TA;EA) de dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70, na primeira época de avaliação

Lotes	**TA**	**G**	**PCG**	**EA**	**TA EA**	**TF**	**EPC**	**EMA**	**IVE**
		----------%----------				**----------%----------**			
L1	9,8	91a(*)	86a	89a	19,1	81a	77a	95a	11,5a
L2	9,7	86a	79a	86a	18,2	79a	71a	88a	10,7a
L3	9,8	84a	80a	84a	18,2	79a	78a	86b	11,1a
L4	10,5	81a	78a	81a	18,2	80a	80a	91a	10,5a
L5	9,7	81a	77a	80b	18,5	79a	70a	91a	11,3a
L6	9,4	82a	76a	78b	19,6	73b	70a	84b	10,4a
L7	9,6	82a	79a	80b	19,8	73b	70a	85b	10,4a
L8	9,6	82a	79a	79b	18,2	75b	63a	84b	9,7a
L9	9,9	83a	74a	77b	19,6	73b	68a	83b	9,8a
L10	10	80a	76a	74b	19,6	72b	69a	80b	9,9a
CV (%)	-	5,83	6,65	6,25	-	4,77	11,19	6,28	7,64

(*) Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

É importante destacar que, embora não tenha havido diferenças estatísticas entre lotes nos testes de primeira contagem de germinação, emergência de plântulas em campo e velocidade de emergência de plântulas em areia, houve nítida tendência de superioridade dos lotes 1, 2, 3 e 4 em relação aos lotes 6, 7, 8, 9 e 10.

4.2.1.2 Análise computadorizada de imagens de plântulas (Seed Vigor Imaging System – SVIS®)

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos por meio do *software* SVIS® para plântulas com dois e três dias de idade. Foram constatadas, para ambos os tempos de avaliação, diferenças significativas para todos os parâmetros avaliados.

Tabela 4 - Resultados dos índices de vigor (IV), índice de uniformidade de desenvolvimento de plântulas (IU) e comprimento de plântulas (Comp.) aos dois e três dias de idade de dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70, na primeira época de avaliação

Lotes	SVIS® 2 Dias			SVIS® 3 Dias		
	IV	IU	Comp. (cm)	IV	IU	Comp. (cm)
L1	929a(*)	867a	2,48a	935a	888a	9,44a
L2	767c	807b	1,73c	890b	888a	8,62b
L3	860b	840a	2,03b	876b	852c	7,80c
L4	848b	848a	2,01b	885b	867b	8,84b
L5	761c	843a	1,67c	876b	851b	8,94c
L6	858b	835a	2,05b	843c	832c	7,36c
L7	836b	808b	1,96b	860b	852b	7,76c
L8	854b	818b	1,97c	830c	841c	7,60c
L9	777c	801b	1,60c	846c	829c	7,72c
L10	775c	804b	1,81c	780d	780d	6,46d
CV(%)	7,36	4,12	12,19	4,44	2,14	14,26

(*) Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Na avaliação das plântulas aos dois dias de idade no parâmetro do índice de vigor, o lote que teve maior desempenho foi o 1, em seguida, os lotes 3, 4, 6, 7 e 8 foram classificados como lotes de vigor intermediários e os lotes 2, 5, 9 e 10 com menores desempenhos. Deve-se destacar que os testes de envelhecimento acelerado, de frio e de emergência de plântulas também destacaram o lote 1 como de maior desempenho, assim como os lotes 9 e 10 como os de menores desempenhos (Tabela 3).

O índice de uniformidade de desenvolvimento classificou como melhor desempenho os lotes 1, 3, 4, 5 e 6 em comparação com os lotes 2, 7, 8, 9 e 10, corroborando, de certa forma, com o teste de envelhecimento acelerado, teste de frio e de emergência de plântulas em areia, que de forma geral, apontaram os lotes 1 e 4 como de maior vigor e os lotes 7, 8, 9 e 10 como de menor vigor (Tabela 3). A uniformidade de desenvolvimento de plântulas é um importante parâmetro para a determinação do vigor das sementes, pois avalia a capacidade das plântulas se desenvolverem de maneira uniforme (MARCOS-FILHO; KIKUTI; LIMA,

2009), sendo a uniformidade de plântulas em campo altamente desejável para obtenção de um estande uniforme, pois favorece melhor desenvolvimento da cultura, com reflexo na produtividade.

De maneira similar ao índice de vigor, o comprimento de plântulas identificou o maior desempenho para o lote 1, desempenho intermediário para os lotes 3, 4, 6 e 7 e menor desempenho para os lotes 2, 5, 8, 9 e 10, corroborando de certa forma, com os testes de envelhecimento acelerado, de frio e de emergência de plântulas em areia.

Na análise aos três dias de idade (Tabela 4), verificou-se maior desempenho para o lote 1 e o lote 10 com pior desempenho e os demais lotes apresentaram comportamento intermediário, corroborando, de maneira geral, com os testes de envelhecimento acelerado, de frio e de emergência de plântulas em areia.

Para o parâmetro de índice de uniformidade de desenvolvimento de plântulas, os lotes 1 e 2 foram destacados como os mais vigorosos e o lote 10 como menos vigoroso, sendo os demais de comportamento intermediário, de maneira que esse índice apresentou certa coerência com os testes de envelhecimento acelerado, de frio e de emergência de plântulas em areia.

No que diz respeito ao comprimento de plântulas, o melhor desempenho foi do lote 1 e o pior desempenho para o lote 10, sendo que os demais apresentaram comportamento intermediário; assim, foi possível a classificação do lote com maior e menor vigor, como constatado pelos testes de envelhecimento acelerado, de frio e de emergência de plântulas em areia (Tabela 3).

4.2.2 Segunda época

4.2.2.1 Teor de água, germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio, emergência de plântulas em campo, emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia.

Na Tabela 5 são apresentados os dados das avaliações do potencial fisiológico dos lotes de sementes. As sementes apresentaram teor de água inicial entre 10,3 e 11,1% e após o teste de envelhecimento acelerado esse valor variou entre 22,2 a 23,9%. Assim como na primeira época de avaliação, a proximidade entre os valores de teor de água nas sementes contribuiu para obtenção de resultados confiáveis.

Nesta segunda época, o teste de germinação acusou diferenças entre os lotes, sendo que os lotes 1, 2, 3, 4, 5 e 6 apresentaram valores maiores do que os lotes 7, 8, 9 e 10 (Tabela 5).

As análises dos resultados obtidos apresentaram diferenças significativas entre os lotes para todos os testes de vigor realizados. De maneira geral, as informações obtidas foram semelhantes à primeira época de avaliação (Tabela 5), em que os lotes 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram destacados com maior desempenho em praticamente todos os testes conduzidos; já os lotes 7, 8, 9 e 10 apresentaram menor desempenho.

No teste de primeira contagem de germinação, observou-se que a identificação dos lotes foi similar ao teste de germinação, entretanto, isto não foi verificado na primeira época de avaliação.

Tabela 5 – Resultados de germinação (G), primeira contagem de germinação **(**PCG), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), emergência de plântulas em campo (EPC), emergência de plântulas em areia (EMA), índice de velocidade de emergência de plântulas em areia (IVE), teor de água no início das avaliações (TA) e depois do teste de envelhecimento acelerado (TA;EA) de dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70, na segunda época de avaliação

Lotes	**TA**	**G**	**PCG**	**EA**	**TA EA**	**TF**	**EPC**	**EMA**	**IVE**
		----------%----------				----------%----------			
L1	10,3	90a	87a	82a	22,4	88a	77a	92a	11,3a
L2	10,7	87a	81a	77a	22,8	79a	74a	89a	10,9a
L3	10,7	89a	85a	80a	23,6	81a	83a	93a	11,3a
L4	10,5	86a	81a	80a	23,6	83a	65b	92a	11a
L5	10,7	87a	85a	77a	23,6	82a	65b	93a	10,6a
L6	11,1	88a	84a	74b	23,2	75a	76a	87a	10,3b
L7	11,1	81b	80a	74b	23,7	80a	74a	86a	10b
L8	10,9	83b	76b	78b	23,9	79a	68b	78b	9,6b
L9	10,7	79b	74b	68b	22,2	69b	70b	80b	9,6b
L10	10,9	79b	75b	66b	23,9	69b	61b	79b	9,4b
CV (%)	-	4,4	6,19	6,72	-	9,02	10,13	5,57	6,98

(*) Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Nos testes de envelhecimento acelerado, de frio, de emergência de plântulas em campo, de emergência de plântulas em areia e no índice de velocidade de emergência de plântulas em areia, foram observadas, de maneira geral, que os lotes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentaram maior vigor e os lotes 8, 9 e 10 menor vigor; entretanto, na primeira época de avaliação, não foram verificadas diferenças entre os lotes no teste de emergência de plântulas em campo e no índice de velocidade de emergência de plântulas em areia (Tabela 5).

4.2.2.2 Análise computadorizada de imagens de plântulas (Seed Vigor Imaging System – SVIS®)

Na Tabela 6, estão apresentados os resultados obtidos por meio do *software* SVIS® para plântulas com dois e três dias de idade. Foram constatadas, para ambos os tempos de avaliação, diferenças significativas para todos os parâmetros avaliados.

Tabela 6 - Resultados dos índices de vigor (IV), índice de uniformidade de desenvolvimento de plântulas (IU) e comprimento de plântulas (Comp.) aos dois e três dias de idade de dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70, na segunda época de avaliação

Lotes	SVIS® 2 Dias			SVIS® 3 Dias		
	IV	IU	Comp. (cm)	IV	IU	Comp. (cm)
L1	910a(*)	844a	2,27a	873a	887a	7,77a
L2	869a	836a	2,15a	879a	856a	7,87a
L3	876a	841a	2,13a	823a	827a	7,70a
L4	889a	830a	2,2a	826a	830a	7,56a
L5	889a	840a	2,16a	822a	839a	7,07b
L6	877a	832a	2,28a	827b	831a	7,35a
L7	904a	829a	2,30a	768b	808b	6,83b
L8	888a	795b	2,13a	769b	817a	6,96b
L9	795b	798b	1,96b	772b	780b	6,66b
L10	793b	786b	1,9b	732b	769b	6,48b
C.V. (%)	7,89	3,7	11,33	7,43	4,45	10,72

(*) Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Na avaliação das plântulas aos dois dias de idade nos parâmetros do índice de vigor, de uniformidade de desenvolvimento e comprimento de plântulas, os lotes que apresentaram maior desempenho foram o 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 e os lotes 9 e 10 com menores desempenhos, com exceção do lote 8 no índice de uniformidade de desenvolvimento. Esta classificação dos lotes foi semelhante aos testes de primeira contagem de germinação, de envelhecimento acelerado, de frio, de emergência de plântulas em campo, de emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia, onde os lotes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 foram destacados como de maior desempenho, assim como os lotes 8, 9 e 10 como os de menores desempenhos (Tabela 5); como também pode ser observado na primeira época de avaliação, o lote 1 foi identificado como de maior vigor e os lotes 9 e 10 como de menor vigor.

Na análise aos três dias de idade (Tabela 6), verificou-se nos índices de vigor, de uniformidade de desenvolvimento e comprimento de plântulas, maior desempenho para o lote

1, 2, 3, 4, 5 e 6 e os lotes 7, 8, 9 e 10 com o menor desempenho, corroborando, de maneira geral, com os testes de primeira contagem de germinação, de envelhecimento acelerado, de frio, de emergência de plântulas em campo, de emergência e velocidade de emergência de plântulas em areia.

Cabe salientar ainda que, na segunda época de avaliação, o índice de vigor e o comprimento de plântulas apresentaram comportamento semelhante ao teste de envelhecimento acelerado e o índice de velocidade de emergência de plântulas em areia, destacando os lotes 1, 2, 3, 4 e 5 como de maior desempenho e os lotes 6, 7, 8, 9 e 10 com menor desempenho.

De acordo com os resultados obtidos, a análise automatizada com o uso do SVIS® para sementes de sorgo devem ser realizadas aos três dias de idade, proporcionando maior confiabilidade nos resultados obtidos. Em estudos realizados com sementes de milho doce (ALVARENGA; MARCOS-FILHO; GOMES-JUNIOR, 2012) e trigo (SILVA; CICERO, 2012), a avaliação aos três dias de idade foi eficiente na determinação do vigor de sementes. Por outro lado, Mondo, Dias e McDonald (2011) observaram resultados semelhantes com plântulas de milho aos dois e três dias de idade e coerentes com o teste de envelhecimento acelerado e de frio; concluíram que a análise efetuada aos dois dias de idade foi suficiente para fornecer informações sobre o vigor dos lotes, diferentemente do obtido nessa pesquisa com sementes de sorgo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de imagens de sementes tem demonstrado grande potencial para identificação rápida de danos internos não vistos externamente na semente que prejudicam a germinação. A avaliação de plântulas com o uso do SVIS® tem apresentando sensibilidade para diferenciar o vigor entre os lotes, dessa forma, a associação dessas técnicas contribui para determinação da qualidade dos lotes, porém ainda, se encontra restrita para algumas espécies.

A utilização dos raios X proporcionou avaliação eficiente da morfologia interna das sementes de sorgo, que para essa espécie não há estudos na literatura, sendo possível observar a ocorrência de danos causados pela deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos. Os resultados obtidos no teste de raios X, juntamente com a análise com o SVIS® aos três dias de idade apresentaram coerência entre si; pois os lotes que apresentaram alta porcentagem desses danos foram classificados como lotes de vigor mais baixo.

O uso da análise computadorizada de imagens de plântulas no SVIS® aos três dias de idade permitiu a obtenção de resultados mais consistentes e em menor tempo quando comparados aos testes tradicionalmente utilizados, reduzindo ainda a subjetividade de análise, pois evitam falhas nos critérios de avaliação sendo, portanto, uma alternativa para os programas de controle de qualidade das empresas produtoras de sementes dessa espécie.

6 CONCLUSÕES

O teste de raios X é eficiente na identificação de danos por deterioração de tecidos, danos mecânicos, danos por malformação e danos por insetos, possibilitando estabelecer a relação entre o dano observado e o prejuízo causado a germinação.

A análise computadorizada de plântulas aos três dias de idade é uma alternativa segura para detectar diferenças de vigor entre os lotes.

REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, E.; ANISHETTY, N.M.; WIMAM, J.T. **A world survey of sorghum and millets germplasm.** Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1984. 20 p.

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 Sementes**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 488-494, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigour handbook**. Ithaca, 1983. 93 p. (Contribution, 32).

BHERING, M.C.; DIAS, D.C.F.S.; VIGIAL, D.S.; NAVEIRA, D.S.P. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de pimenta. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 64-71, 2006.

BINO, R.J.; AARTSE, J.W.; BURG, W.J. Non destructive X-ray analysis of Arabidopsis embryo mutants. **Seed Science Research**, Wallingford**,** v. 3, n. 3, p. 167-170, 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normas e padrões para produção e comercialização de sementes de espécies forrageiras de clima tropical**. (Instrução Normativa, 30). 2008. Disponível em: <http://www.adagri.ce.gov.br/Docs/legislacao_vegetal/IN_30_de_21.05.2008.pdf>. Acesso: 20 nov. 2015.

_____. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. 395 p.

CARVALHO, F.L.; MEDEIROS-FILHO, S.; ROSSETTI, G.A.; TEÓFILO, M.E. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 185-192, 2000.

CARVALHO, M.L.M.; VAN AELST, A.C.; VAN ECK, J.W.; HOEKSTRA, F.A. Pre-harvest stress cracks in maize (*Zea mays* L.) kernels as characterized by visual, X-ray and low temperature scanning electron microscopical analysis: effect on kernel quality. **Seed Science Research**, Wallinford, v. 9, p. 227-236, 1999.

CICERO, S.M.; BANZATTO-JUNIOR, H.L. Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 25, n. 1, p. 29-36, 2003.

CICERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 151-164.

CICERO, S.M.; VAN DER SHCHOOR, R.; JALINK, H. Use of chlrophyll fluorescence sorting to improve soybean seed quality. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 45-151, 2009.

CICERO, S.M.; VAN DER HEIJDEN, G.W.A.M.; VAN DER BURG, W.J.; BINO, R.J. Evaluation of mechanical damage 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.

DELL' AQUILA, A.; Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 51, p.777-781, 2007.

DELOUCHE, J.C. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, Mississippi, v. 6, n. 6, 2002. Disponível em: <http:w.seednews.inf.br/portugues/seed66/artigocapa66.shtml>. Acesso em: 12 maio 2014.

DICKO, M.H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A.S.V.B.; WILLEM, J.H.; VORAGEN, A.G.J. *Sorghum* grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotecnology**, Nairobi, v. 5, p. 384–395, 2006.

DINIZ, G. M.M. **A produção de sorgo** (*Sorghum bicolor* L. Moench**) aspectos gerais**. 2010. 22 p. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

EMBRAPA. **Sistemas de produção**, **cultivo do sorgo, a implantação da cultura**. 2. ed. Sete Lagoas, 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_7_ed/plantio-plantio.htm>. Acesso em: 08 abr. 2014.

FAO. **FAOSTAT:** analysis. 2014. Disponível em: <http://faostat3.fao.org./home/index/html>. Acesso em: 28 nov. 2015.

FORTI, V.A.; CICERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Análise de imagens para avaliação de danos mecânicos e causados por percevejos em sementes feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 121-130, 2008.

_____. Using image analysis technique to evaluate the evolution of weathering damage during the storage in soybean seeds. In: INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION CONGRESS, 29., 2010, Cologne. **Abstracts...** Bassersdorf: International Seed Testing Association, 2010. p. 29.

FRANCO, A.A.N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**, 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2011. Disponível em: <http://www.producaovegetal.com.br/arquivos_upload/editor/file/dissertacao_antonio_franco.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2014.

GOMES-JUNIOR, F.G. Aplicação da análise de imagens para a avaliação da morfologia interna de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, p. 33-39, 2010.

GOMES-JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. X-ray analysis to assess mechanical damage in sweet corn seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 78-85, 2012.

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

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**, Zürich, v. 31, n. 3, p. 701-713, 2003.

HOFFMASTER, A.L.; 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**, Lincoln, v. 27, n. 1, p. 7-24, 2005.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2015. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2015/lspa_201510.pdf>. Acesso: 10 fev. 2016.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION**. Handbook of vigour test methods**. Zürich, 1995. 117 p.

_____. **Regras internacionais para análise de sementes.** Zürich, 2004. 174 p.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F.C; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO. J.B. (Ed.). **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina, ABRATES, 1999. p. 61-68.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. **Cultivo do sorgo:** ecofisiologia. 4. ed. 2008. (Sistemas de Produção). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/ecofisiologia.htm>. Acesso em: 11 jan. 2016.

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

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.

_____. Sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas (SVIS®) para avaliação de vigor de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, p. 40-44, 2010.

_____. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, p. 363-374, 2015.

MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 p.

MARCOS-FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P.; LIMA, L.B. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

_____. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.

MARCOS FILHO, J.; GOMES JUNIOR, F.G.; BENNETT, M.A.; WELLS, A.A.; STIEVE, S. Using tomato analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 146-153, 2010.

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

McDONALD, M.B. A review and evaluation of seed vigor tests. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, Lincoln, v. 65, p. 109-139, 1975.

MELO, R.A.; FORTI, V.A.; CICERO, S.M.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; MELO, P.C.T. Use of X-ray to evaluate damage caused by weevils in cowpea seeds. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 472-476, 2010.

MENEZES, N.L.; CICERO, S.M.; VILLELA, F.A. Identificação de fissuras em sementes de arroz após a secagem artificial, por meio de raios X. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1194-1196, 2012.

MONDO, V.H.V.; DIAS, M.A.N.; McDONALD, M.B. Seed vigour imaging system for a 2-day old corn seedling evaluation. **Seed Tecnhnoloy**, Ithaca, v. 33, n. 2, p. 191-196, 2011.

MONDO, V.H.V.; GOMES-JUNIOR, F.G; PUPIN, T.L; CICERO, S.M. Avaliação de danos mecânicos em sementes de feijão por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes,** Londrina, v. 31, p. 27-35, 2009.

MORGADO, L.B. Sorgo. In: KIIL, L.H.P.; MENEZES, E.A. (Ed). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido brasileiro**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. cap. 8, p .251-274.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWISKI, F.C. VIEIRA, R.D. FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes:** conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1-2.24.

OBANDO-FLOR, E.P.; CICERO, S.M.; FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 68-76, 2004.

PINTO, T.L.F.; CICERO, S.M.; FORTI, V.A. Avaliação de danos por umidade, em sementes de soja, utilizando a técnica de análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 28-34, 2007.

PINTO, T.L.F.; MARCOS-FILHO, J.; FORTI, V.A.; CARVALHO, C.; GOMES-JUNIOR, F.G. Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 195-201, 2009.

RODRIGUES, J.A.S. **Cultivo do sorgo.** 3. ed. Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Sistemas de Produção). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_3_ed/index.htm>. Acesso em: 23 abr. 2014.

SAKO, Y.; McDONALD, M.B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A.F.; BENNETT, M.A. A system for automated seed. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 29, n. 3, p. 625-636, 2001.

SILVA P.P.; FREITA, S.R.A.; CICERO, S.M.; MARCOS-FILHO, J.; NASCIMENTO, W.M. Análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 210-214, 2014.

SILVA, V.N.; CICERO, S.M. Avaliação do vigor de sementes de tomate durante o armazenamento por meio de análise computadorizada de imagens de plântulas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2317-2326, 2014.

SILVA, V.N.; GOMES-JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. Computerized imaging analysis of seedlings for assessment of physiological potential of wheat seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 589-596, 2012.

SILVA, V.N.; ARRUDA, N.; CICERO, S.M.; MAUS, C.A.; GIACOMELI, R. Morfologia interna e germinação de sementes de arroz de terras baixas produzidas em diferentes regimes hídricos. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and drainage**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 453-463, 2014.

SIMAK, M. Testing of forest tree and shrub seeds by X-radiography. In: GORDON, A.G.; GOSLING, P.; WANG, B.S.P. (Ed.). **Tree and shrub seed handblook**, Zürich: ISTA, 1991. p. 1-28.

SOUZA, G.F.M.V.; SANTOS, C.M. SANTANA, D.G. Armazenamento de sementes de sorgo submetidas a diferentes graus de umidade de colheita. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p. 745-752, 2009.

TILLMANN, C.A.C. **Modelo de sistema integrado de gestão da qualidade para implantação nas unidades de beneficiamento de sementes**. 2006. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

VIEIRA, M.G.G.C. **Controle de qualidade de sementes**. Lavras: UFLA; FAEPE, 1999. 113 p.

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

ZORATO, F. Evolução do laboratório de análise de sementes. **Seed News**, Pelotas, v. 9, n. 6, p. 24-26, 2005.