

## UTILIZAÇÃO DE RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA INTERNA DE SEMENTES DE SORGO

MAICON JAVORSKI<sup>1</sup> e SILVIO MOURE CICERO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP/ESALQ), Piracicaba (SP), Brasil.  
maiconjavorski@hotmail.com, smcicero@usp.br*

---

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.16, n.2, p. 310-318, 2017*

**RESUMO** - A utilização de raios X em sementes é uma técnica eficiente na avaliação da morfologia interna de sementes de diversas espécies; trata-se de um método rápido, preciso e não destrutivo. Assim, a presente pesquisa teve o objetivo de avaliar a morfologia interna das sementes de sorgo, por meio de raios X, e relacioná-la com a germinação. Para tanto foram utilizadas sementes do híbrido 50A70, representado por dez lotes. As sementes radiografadas foram submetidas ao teste de germinação, de modo a relacionar a morfologia interna das sementes com as respectivas plântulas normais, anormais ou sementes mortas. 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.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, análise de imagens, germinação.

## X-RAY IN THE EVALUATION OF INTERNAL MORPHOLOGY OF SORGHUM SEEDS

**ABSTRACT** - The use of X-ray in seeds is an efficient technique for the evaluation of the internal seed morphology; it is considered a fast, accurate and non-destructive method. Thus, this study aimed to evaluate the internal morphology of sorghum seeds through X-ray. Therefore, seeds of hybrid 50A70 were used, represented by ten lots. The X-rayed seeds were submitted to germination test in order to associate the internal morphology of the seeds with normal or abnormal seedlings and dead seeds. The results allowed concluding 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.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, image analysis, germination.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma das plantas de grande interesse socioeconômico em razão do seu potencial para a produção de grãos, forragem e etanol (Yagi, 2006). Além disso, a planta apresenta características agrônômicas importantes, como a tolerância às altas temperaturas e déficit hídrico, podendo ser cultivada em todo território brasileiro. De acordo com a FAO (2015), no ano de 2014, o sorgo foi considerado o quinto cereal mais produzido no mundo, com os Estados Unidos e o México ocupando as primeiras posições no ranking de produção.

Dentre os fatores limitantes para a produção de sementes com alta germinação, pode-se destacar a dificuldade de se obter sementes com elevada qualidade física (Carvalho et al., 2000). Os principais fatores que influenciam a qualidade física das sementes são teor de água, aparência, danos mecânicos e danos causados por insetos (Popinigis, 1985). No caso do sorgo, a panícula é produzida na parte superior da planta (Magalhães et al., 2008), aumentando a exposição das sementes às condições adversas do campo, o que afeta diretamente a germinação.

No sistema de produção, as sementes são mantidas em campo até atingirem o teor de água próximo a 18%, valor ideal para uma colheita que minimiza danos mecânicos (Parrella & Parrella, 2011). Por outro lado, o retardamento da colheita a partir da maturidade fisiológica pode influenciar negativamente na germinação das sementes, por causa da sua exposição às condições desfavoráveis do ambiente, provocando deterioração das sementes na panícula (Terasawa et al., 2009). Nesse contexto, recomenda-se que as sementes sejam colhidas antecipadamente, ou seja, quando ainda apresentam teor de água próximo a 30% (Corrêa et al., 2006).

Tendo em vista os problemas relacionados à qualidade de sementes, nos últimos anos, várias pes-

quisas direcionadas à avaliação da morfologia interna delas têm sido fundamentadas nas técnicas de análise de imagens. As imagens radiografadas das sementes visam aumentar a eficiência da análise, possibilitando sua introdução em programas de controle de qualidade de empresas produtoras de sementes (Gomes Júnior, 2010).

A análise de sementes utilizando as imagens radiografadas obtidas pelo teste de raios X pode identificar problemas (Gomes Júnior, 2010). Neste sentido, a captura e o processamento da imagem radiografada têm permitido o estabelecimento de relações entre integridade, morfologia e determinação da germinação das sementes (Marcos Filho et al., 2010). Essa técnica foi inicialmente utilizada por Simak e Gustafsson (1953), na avaliação da qualidade de sementes de *Pinus sylvestris* L., por apresentar a vantagem de não alterar a viabilidade delas, permitindo que sejam semeadas para comparação com o teste de germinação, possibilitando o estudo da germinação em relação à imagem radiográfica. Esta metodologia de análise de sementes tem sido aprimorada para avaliação de outras espécies, visando identificar problemas não visíveis à ótica humana e sua relação com a germinação (Amaral et al., 2011).

O teste de raios X tem sido utilizado principalmente na análise da morfologia interna de sementes, possibilitando o estudo da relação entre a ocorrência de danos e o prejuízo causado à germinação. Isso pode ser verificado em pesquisas realizadas na agricultura com sementes de milho (Cicero et al., 1998), milho doce (Gomes Júnior & Cicero, 2012), arroz (Silva et al., 2014b) soja (Forti et al., 2008), crotalária (Arruda et al., 2016), dentre outras espécies.

Diante da necessidade de novos procedimentos rápidos e eficientes para avaliação de sementes, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a morfolo-

gia interna de sementes de sorgo, por meio de raios X, e relacioná-la com a germinação.

### Material e Métodos

O trabalho foi realizado nos Laboratórios de Análise de Sementes 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.

O teor de água foi determinado pelo método de estufa a  $105 \pm 3$  °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.

A avaliação da morfologia interna das sementes (raios X) foi realizada com oito repetições de 25 sementes, de cada lote. As sementes foram posicionadas mantendo-se a face ventral em contato com a superfície de fita adesiva, posteriormente colocada sobre uma folha de acetato transparente (210 mm x 297 mm). Cada semente foi numerada 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 a distância mais adequada para identificação das partes

da semente. As imagens radiografadas foram salvas em pasta específica do disco rígido do computador. Após a radiografia, as sementes, 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 quatro dias em germinador a 25 °C, as plântulas (normais e anormais) e as sementes mortas foram fotografadas com o auxílio de uma câmera Sony (DSC-W530), utilizando-se 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. Dessa forma, foi possível 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 delas. Precedeu-se a identificação individual das sementes, que provavelmente apresentariam o desempenho comprometido, em razão do 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 de tecidos, danos mecânicos, dano 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 dano por lote.

A análise dos dados 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 do teste de germinação.

### Resultados e Discussão

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 óptica, que está diretamente relacionado ao grau de contraste da imagem. Assim, quanto menor o teor de água, maior a densidade óptica, o que possibilita melhor visualização das partes internas das sementes radiografadas.

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 1). Em estudos realizados com análise de raios X em sementes de arroz (Menezes et al., 2012; Silva et al., 2014b), milho doce (Gomes Júnior & Cicero, 2012), soja (Pinto et al., 2007; Forti et al., 2008; Pinto et al., 2009; Wendt et al., 2014), feijão (Mondo et al., 2009), feijão-caupi (Melo et al., 2010), crotalaria (Arruda et al., 2016) e abóbora (Silva et al., 2014a), foi possível visualizar as partes das sementes com teores de água entre 6,5 e 13%. Além disso, é importante ressaltar que as sementes de cada espécie possuem suas características específicas de densidade e composição química e estes fatores podem interferir consideravelmente na visualização das partes 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

**Tabela 1.** 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), sementes mortas (SM) e teor de água (TA) de dez lotes de sementes de sorgo do híbrido 50A70.

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

nas sementes permite, de forma segura, a avaliação da porcentagem de ocorrência destes danos nas sementes.

Na Tabela 1, 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. Alguns destes causaram prejuízo à germinação das sementes, uma vez que os danos que atingiram o eixo embrionário resultaram em plântulas anormais ou em sementes mortas.

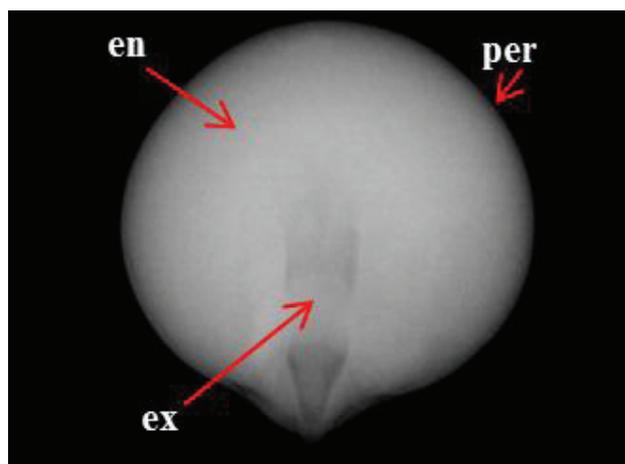
Os lotes 1, 2, 3 e 4, que apresentaram os menores danos totais (4 a 7%), foram os mesmos com os maiores valores de plântulas normais (acima de 90%) (Tabela 1). Por outro lado, os lotes 5, 6, 7 e 8 apresentaram danos totais intermediários (10,5 a 13,5%) e percentual de germinação entre 82 a 90%, ao passo 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 de tecidos 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 et al., 2008), o que provoca desuniformidade na maturação das sementes. A exposição das sementes a condições adversas ocorridas em campo ocasiona reflexos negativos no seu potencial fisiológico.

Nas Figuras 2A, 3A e 3C 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 e oferecem menor resistência à passagem dos raios X, promovendo assim o escurecimento da imagem. O dano localizado na região da radícula (Figura 2A) originou uma plântula com apenas a parte aérea desenvolvida (Figura 2B). Por outro lado, quando a deterioração ocorreu na região da plúmula (Figura 3A) e em maior extensão no eixo embrionário (Figura 3C), provocou a morte das sementes (Figuras 3B e 3D). Como pode ser observado, houve relação entre o dano por deterioração de tecidos com a mortalidade de sementes (Tabela 1). 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.

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 4A que a trinca incidiu na parte superior do endosperma e da plúmula, provocando o desenvolvimento de plântula anormal (Figura 4B). É interessante ressaltar que não

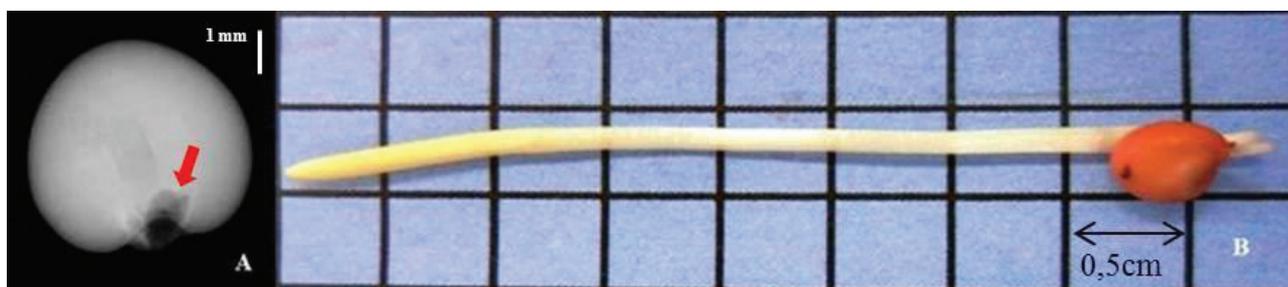


**Figura 1.** Identificação das partes da semente de sorgo pelo teste de raios X: pericarpo (per), endosperma (en) e eixo embrionário (ex).

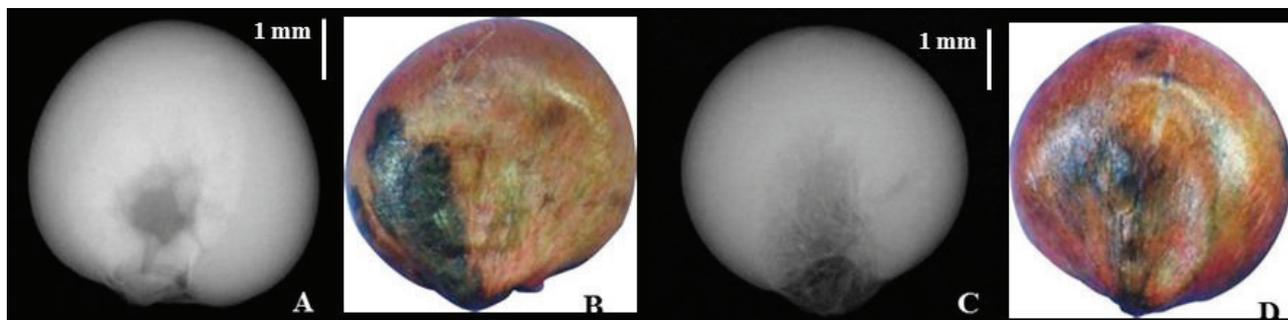
houve ocorrência de danos mecânicos para os lotes 9 e 10, os quais apresentaram as menores porcentagens de plântulas normais e, como enfatizado anteriormente, os danos causados por deterioração de tecidos foram os responsáveis pela maior perda de germinação dos referidos lotes.

Na Figura 5A, observa-se dano por malformação do eixo embrionário e dano por deterioração de tecidos na parte superior do endosperma. A ocorrên-

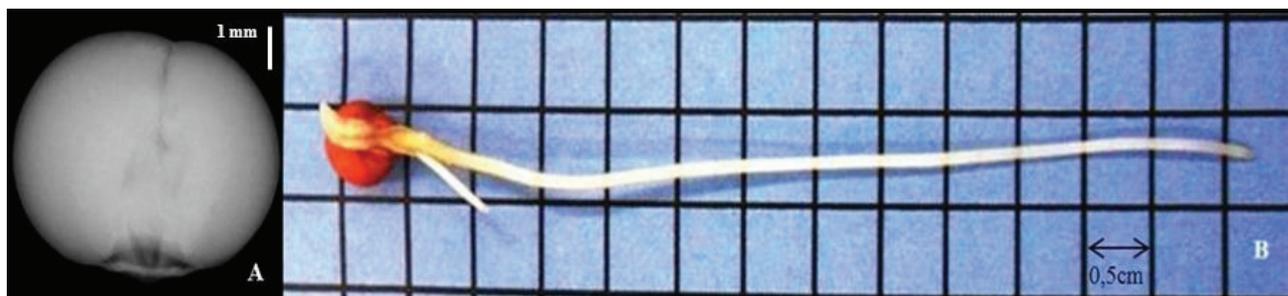
cia de danos por malformação não passou de 1,5% e quando associado a porcentagens elevadas de dano por deterioração de tecidos, como verificado nos lotes 9 e 10 (Tabela 1), resultaram em maior quantidade de plântulas anormais (Figura 5B) e em sementes mortas. Já para o dano por inseto (Figura 5C), pode-se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



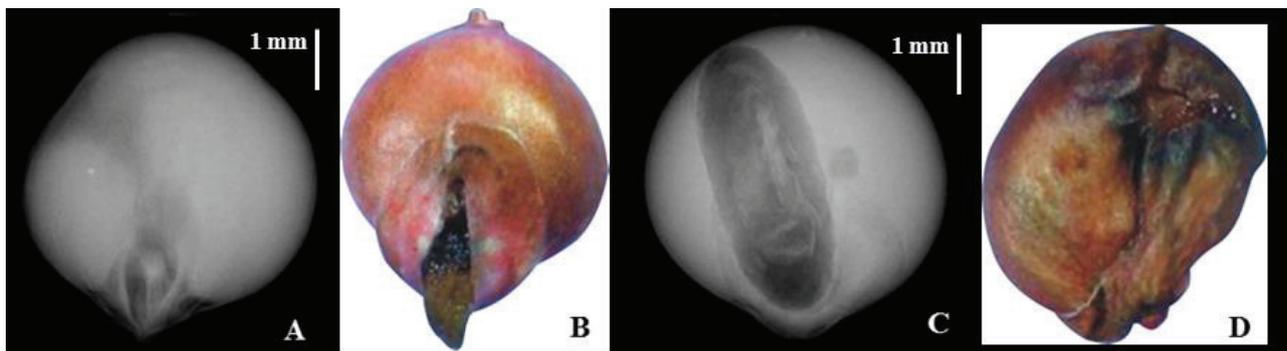
**Figura 2.** Imagem radiográfica de semente de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano por deterioração de tecidos na região da radícula (A), originando uma plântula anormal (B).



**Figura 3.** 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).



**Figura 4.** 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).



**Figura 5.** 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 pelo teste de raios X, pode contribuir para a seleção de lotes em programas de controle de qualidade e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do sistema de produção (International Seed Testing Association, 2004).

As imagens apresentadas nesta pesquisa 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 a falha observada e o prejuízo causado à 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 sugeriram a utilização da análise de imagens com o uso do raio X para caracterizar e identificar essas lesões internas em sementes (Cicero et al., 1998; Carvalho et al., 1999; Obando-Flor et al., 2004).

### Conclusões

O teste de raios X é eficiente na identificação de danos por deterioração de tecidos, danos mecâni-

cos, danos por malformação e danos por insetos, possibilitando estabelecer a relação entre o dano observado e o prejuízo causado à germinação.

O dano por deterioração de tecidos em sementes de sorgo é o principal responsável pela ocorrência de plântulas anormais ou sementes mortas.

### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudo concedida, e à Dow AgroScience, pelo fornecimento das sementes.

### Referências

AMARAL, J. B.; MARTINS, L.; FORTI, V. A.; CÍCERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 601-607, 2011. DOI: [10.1590/S0101-31222011000400001](https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000400001).

ARRUDA, N.; CÍCERO, S. M.; GOMES JÚNIOR, F. G. Radiographic analysis to assess the seed structure of *Crotalaria juncea* L. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 161-168, 2016.

DOI: [10.1590/2317-1545v38n2155116](https://doi.org/10.1590/2317-1545v38n2155116).

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.
- CARVALHO, L. F.; MEDEIROS FILHO, S.; ROSSETTI, A. G.; TEÓFILO, E. M. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, 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**, Wallingford, v. 9, p. 227-236, 1999.
- CICERO, S. M.; BANZATTO JÚNIOR, H. L. Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 29-36, 2003. DOI: [10.1590/S0101-31222003000100006](https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000100006).
- CICERO, S. M.; VAN DER HEIJDEN, G. W. A. M.; VAN DER 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**, Zurich, v. 26, p. 603-612, 1998.
- CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 665-670, 2006. DOI: [10.1590/S1415-43662006000300019](https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300019).
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT analysis**. Rome, 2015. 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**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 121-130, 2008. DOI: [10.1590/S0101-31222008000100016](https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000100016).
- GOMES JÚNIOR, F. G. Aplicação da análise de imagens para a avaliação da morfologia interna de sementes. **Informativo Abrates**, Curitiba, v. 20, p. 33-39, 2010.
- GOMES JÚNIOR, F. G.; CICERO, S. M. X-ray analysis to assess mechanical damage in sweet corn seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 78-85, 2012. DOI: [10.1590/S0101-31222012000100010](https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000100010).
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Germination. In: INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **International rules for seed testing**. Bassersdorf, 2004. p. 5.1- 5.5; 5A.1- 5A.50.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).
- MARCOS FILHO, J.; GOMES JÚNIOR, F. G.; BENNETT, B. 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. DOI: [10.1590/S0101-31222010000200018](https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000200018).
- 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, n. 4, p. 472-476, 2010. DOI: [10.1590/S0102-05362010000400016](https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000400016).
- 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, n. 5, p. 1194-1196, 2012. DOI: [10.1590/S0103-84782005000500033](https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500033).
- MONDO, V. H. V.; GOMES JÚNIOR, 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, n. 2, p. 27-35, 2009. DOI: [10.1590/S0101-31222009000200003](https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000200003).

- 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.  
DOI: [10.1590/S0101-31222004000100011](https://doi.org/10.1590/S0101-31222004000100011).
- PARRELLA, N. L. D.; PARRELLA, R. A. da C. Produção de sementes de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, DF, v. 2, n. 3, p. 14-15, ago. 2011.
- 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.  
DOI: [10.1590/S0101-31222007000300004](https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000300004).
- PINTO, T. L. F.; MARCOS FILHO, J.; FORTI, V. A.; CARVALHO, C.; GOMES JÚNIOR, F. G. Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 195-201, 2009.  
DOI: [10.1590/S0101-31222009000200023](https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000200023).
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: AGIPLAN, 1985. 289 p.
- RIBAS, P. M. Plantio: a implantação da cultura. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 7. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).
- SILVA, P. P.; FREITAS, 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, DF, v. 32, n. 2, p. 210-214, 2014a.  
DOI: [10.1590/S0102-05362014000200016](https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200016).
- 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**, Botucatu, v. 19, p. 453-463, 2014b. DOI: [10.15809/irriga.2014v19n3p453](https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n3p453).
- SILVA, V. N.; GOMES JÚNIOR, 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. DOI: [10.1590/S0101-31222012000400009](https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000400009).
- 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 handbook**. Zurich: ISTA, 1991. p.1-28.
- SIMAK, M.; GUSTAFSSON, Å. X-ray photography and sensitivity in forest tree species. **Hereditas**, Lund, v. 39, n. 2, p. 458-468, 1953.  
DOI: [10.1111/j.1601-5223.1953.tb03430.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1953.tb03430.x).
- TERASAWA, J. M.; PANOBIANCO, M.; POSSAMAI, E.; KOEHLER, H. S. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 765-773, 2009.  
DOI: [10.1590/S0006-87052009000300025](https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000300025).
- WENDT, L.; GOMES JÚNIOR, 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. DOI: [10.1590/S1983-40632014000300011](https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000300011).
- YAGI, R.; SIMILI, F. F.; ARAÚJO, J. C.; PRADO, R. M.; SANCHEZ, S. V.; RIBEIRO, C. E. R.; BARRETTO, V. C. M. Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 655-660, 2006.  
DOI: [10.1590/S0100-204X2006000400016](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400016).