**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Avaliação da sensibilidade de sementes de pupunha à dessecação

Renê Suaiden Parmejiani

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

**Piracicaba
2013**

Renê Suaiden Parmejiani
Engenheiro Agrônomo

Avaliação da sensibilidade de sementes de pupunha à dessecação

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

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

**Piracicaba
2013**

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

Parmejjani, Renê Suaiden

Avaliação da sensibilidade de sementes de pupunha à dessecação / Renê Suaiden

Parmejjani.- - Piracicaba, 2013.

48 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Análise de imagens 2. Morfologia vegetal 3. Pupunha 4. Sementes I. Título

CDD 634.6
P253a

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

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois com ele tudo é possível.

Aos meus pais Sidnei Dias Parmejiani e Aparecida Regina Suaiden Parmejiani por sempre estarem à disposição em todos os momentos de minha vida, dispostos a ajudar com conselhos, carinho, apoio e incentivo em todas as situações.

Aos meus familiares tios, tias, avós e primos e, principalmente, ao meu irmão Renan Suaiden Parmejiani, que sempre foi um exemplo.

À Elen Petean por sempre estar ao meu lado ajudando a enfrentar todas as dificuldades com constante apoio, carinho e incentivo, sua presença torna mais suave os obstáculos, te amo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Silvio Moure Cicero, pelos ensinamentos repassados que ajudaram em minha formação como profissional e, principalmente, pessoal, sempre justo com todos; muito obrigado por todos os conselhos e pelo exemplo de profissionalismo; agradeço também pela confiança depositada em mim, ao me autorizar a escrever a dissertação trabalhando, fiz o máximo para retribuir e espero ter conseguido.

Aos Prof. Dr. Julio Marcos Filho e Profa. Dra. Ana Dionisia da Luz Coelho Novembre, pelo incentivo em realizar o processo de seleção para o curso de mestrado na ESALQ/USP e pela grande contribuição em minha formação profissional.

À Engenheira Agrônomo Helena Maria C. Pascarim Chamma, um exemplo de pessoa e profissional, sempre disposta à ajudar e ensinar a todos dentro do Laboratório de Análises de Sementes.

Ao Dr. Francisco Guilhein Gomes Junior, Técnico Responsável pelo Laboratório de Análise de Imagens, pela orientação na utilização dos equipamentos, permitindo a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal Luciane Lopes Toledo e Rafael Aragon, sempre atendendo às nossas necessidades como estudantes, com dedicação, empenho e educação.

Aos amigos e funcionários do laboratório Adilson, João e Zezé, sempre descontraindo os momentos de trabalho.

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

Aos professores do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, que contribuíram para meu crescimento profissional e intelectual.

Ao Prof. Emanuel Maia, da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), ao Hamilton Condack, Gerente de Comercialização do Projeto Reca, ao José Wellington Drumond Gouveia, Chefe da Unidade Local de Sanidade Animal Vegetal – ULSAV/IDARON de São Francisco do Guaporé e ao Fernando Pereira Matos, da Emater/RO, pelo apoio aos trabalhos que realizei na Universidade Federal de Rondônia.

À Profa. Dra. Sonia Maria de Stefano e Piedade, pela educação, atenção e dedicação intensiva aos alunos.

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pelo apoio e fornecimento de sementes para realização desta pesquisa.

Aos amigos do Setor de Tecnologia de Sementes: Vanessa, Cristiane, Natália, Simone, Denis, Victor, Márcio, Cartiane, Juliana, Renata, Roberta, Patrícia, Bruna, Adrielle e Marcão, obrigado a todos que fizeram parte desta conquista e me auxiliaram nos momentos de dificuldades.

Aos integrantes da república Central do Brasil, amigos que me acolheram durante minha permanência em Piracicaba: Lucas (Paraíba), Renan, Álvaro, Ricardo, Diego e Pedro.

Aos amigos de turma e Curso de Graduação, principalmente, Rafael Jortez, Robério, José Dilda, Leandro e Vitão, que apesar da distância, a amizade permanece forte.

A todos que de alguma forma ajudaram em toda a difícil jornada para realização de mais esta etapa de minha vida.

EPIÍGRAFE

“Criador inefável,
dignai-Vos derramar
sobre as trevas da minha inteligência
um raio de vossa clareza.

Dai-me a penetração da inteligência,
a faculdade de lembrar-me,
o método e a facilidade do estudo,
a profundidade na interpretação
e uma graça abundante de expressão.

Fortificai o meu estudo,
dirigi o seu curso, aperfeiçoai o seu fim,
Vós que sois verdadeiro Deus
e verdadeiro homem,
e que viveis nos séculos dos séculos.”

S. Tomás de Aquino

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Taxonomia	15
2.2 Importância econômica	16
2.3 Recalcitrância	17
2.4 Secagem de sementes	19
2.5 Radiografia de sementes	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Radiografias.....	32
5 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

RESUMO

Avaliação da sensibilidade de sementes de pupunha à dessecação

Avaliar a sensibilidade de sementes de pupunha à dessecação, por meio do teste de raios X e do teste de emergência de plântulas, determinando-se os níveis crítico e letal de tolerância à dessecação, foi o objetivo deste estudo. A perda de água das sementes foi monitorada e os tratamentos constituídos pela tentativa de decréscimo de 3% do teor de água do anterior, a partir do inicial (testemunha), até o mínimo de 11%; assim, o número de tratamentos teve relação direta com o teor de água inicial das sementes e cada tratamento foi representado por quatro repetições de 50 sementes. Após a secagem, as sementes foram radiografadas, determinados os espaços internos vazios e submetidas ao teste de emergência de plântulas em areia. As sementes de pupunha ao atingirem 36,4% de teor de água, durante o processo de secagem, têm o seu potencial fisiológico afetado negativamente (teor de água crítico) e, com o avanço do processo de secagem a partir de 12,2% ocorre a morte das sementes. O teste de raios X é eficaz na avaliação da morfologia interna das sementes durante a secagem. À medida que aumenta o espaço interno vazio diminui o potencial fisiológico das sementes e acima de 30% não ocorre a emergência de plântulas.

Palavras chave: *Bactris gasipaes* Kunth; Raios X; Sementes recalcitrantes; Análise de imagens; Morfologia interna de sementes

ABSTRACT

Evaluation of sensibility of peach-palm seeds to desiccation

The objective of this study was to evaluate the sensibility of peach-palm seeds to desiccation and determine the critical and lethal levels for tolerating desiccation by using X-ray and seedling emergence tests. Water loss from the seeds was monitored and the treatments consisted of progressive 3% reductions in water content commencing with the control values until a minimum of 11% was reached; therefore, the number of treatments was directly related to the initial seed water content and each treatment was represented by four replications of 50 seeds. After drying, the seeds were X-rayed, the internal empty spaces determined and the seeds submitted to a seedling emergence test in sand. Peach-palm seeds dried to 36,4% of moisture content have reduction on physiological potential (critical level for tolerance desiccation); increased drying after 12.2% results in seed mortality. The X-ray test is effective in internal morphology evaluation of the peach-palm seeds as drying increased. As the internal empty space increases in the seeds, the physiological potential decreases; there is no seedling emergence when the internal empty space is greater than 30%.

Keywords: *Bactris gasipaes* Kunth; X-ray; Recalcitrant seed; Image analysis; Internal seed morphology

1 INTRODUÇÃO

A pupunheira é uma palmeira de grande importância econômica, social e ecológica para o Brasil, podendo seu cultivo ser destinado à produção de palmito, alimento utilizado em pratos nobres, e de frutos carnosos e de alto valor nutricional, que compõem o hábito alimentar da população da Região Amazônica ou em programas de reflorestamento e conservacionistas.

Produzida comercialmente para a industrialização do palmito, a pupunheira se destaca entre outras palmeiras por sua alta produção e precocidade, sendo cultivada em quase todo território brasileiro. Porém, esse cultivo enfrenta algumas dificuldades, como produção de mudas a partir de sementes em locais e épocas diferentes ao de sua origem (KOHOMA, 2006). As sementes de pupunha apresentam comportamento recalcitrante, germinação lenta e não toleram armazenamento por longos períodos.

Algumas espécies com comportamento recalcitrante podem ser multiplicadas por propagação vegetativa, porém, muitas vezes a semente é necessária para sua propagação.

Diante dessa problemática, é importante o desenvolvimento de estudos que permitam compreender o comportamento peculiar destas sementes, facilitando o seu manejo em todas as fases de produção.

Sabe-se que a redução do teor de água é uma alternativa para conservar o potencial fisiológico da semente por um período mais longo, pois reduz o seu metabolismo e o dos microrganismos patogênicos. Como as sementes com comportamento recalcitrante são sensíveis à dessecação, tolerando a retirada de água somente até certos níveis, o que acontece de modo distinto para cada espécie; assim, se faz necessário realizar estudos para definir os níveis críticos e letal de tolerância à dessecação.

Com a redução da quantidade de água presente na semente, ocorre a redução da turgescência das células, podendo diminuir o seu volume. Esse processo altera a morfologia interna da semente e tem-se uma redução do espaço ocupado pelos tecidos que a formam: o endosperma, que ocupa maior parte do espaço interno da semente, e o embrião, pequeno e em formato cônico, os quais estão protegidos pelo endocarpo. A redução do volume pode causar problemas na

estabilidade das células destes tecidos, podendo acarretar em danos estruturais e metabólicos e prejudicar o potencial fisiológico. O teste de raios X permite verificar essa redução do volume ocupado pelos tecidos do endosperma e embrião nas sementes, por meio da captura de imagens radiográficas, e por se tratar de um teste não destrutivo, permite relacionar seus resultados com testes fisiológicos, como emergência de plântulas, podendo ser uma importante técnica para auxiliar na compreensão do comportamento peculiar das sementes recalcitrantes.

Diante o exposto, este estudo teve por objetivo avaliar a sensibilidade de sementes de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) à dessecação, por meio do teste de raios X e do teste de emergência de plântulas, e definir os níveis crítico e letal de tolerância à dessecação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Taxonomia

A pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) está presente em diversos países da América do Sul e América Central, também conhecida por “*peach palm*” e “*pewa palm*” (Trinidade), “*pejibaye*” (Costa Rica e Nicarágua), “*piba*” (Panamá), “*pijiguo*” e “*macana*” (Venezuela), “*chontaduro*” (Colômbia e Equador), “*pijuayo*” (Peru), “*tembe*” e “*palma de Castilla*” (Bolívia), “*parepon*” (Guiana Francesa) e pupunha (Brasil) (MORA-URPÍ et al., 1997; LORENZI, 2010).

Classificada taxonomicamente como uma palmeira, portanto monocotiledônea da família Arecaceae, de grande porte, espinhosa, cespitosa e pode atingir até 20 metros de altura, possuindo estipes de 3 a 18 metros de comprimento e com diâmetro de 12 a 18 centímetros. Os frutos quando maduros podem ser avermelhados, alaranjados ou amarelados, com formato ovoide a subgloboso, com dimensões entre 3 a 6 cm x 2,5 a 4,0 cm. A polpa é abundante, amilácea, farinhenta e oleosa, havendo mais de uma dezena de formas e cores de frutos (LORENZI, 2010).

As sementes da pupunha possuem formato globoso a elipsoide, com endosperma homogêneo e de consistência dura, que preenche quase todo espaço interno da semente, sendo sua composição química caracterizada como oleaginosa, esquematizada conforme a Figura 1 por Silva et al. (2006).

Figura 1 - Descrição morfológica de sementes de pupunha, elaborada por Silva et al. (2006), representando o corte longitudinal do diásporo de *Bactris gasipaes* Kunth em A (barra = 1cm), e o embrião em B (barra = 2mm)

2.2 Importância econômica

Estudos sobre palmeiras contribuem para um melhor entendimento sobre sua diversidade, ocupação no ecossistema, evolução, adaptação e desenvolvimento de técnicas para seu cultivo e exploração economicamente viável (SILVA et al., 2006).

As palmeiras são plantas que remetem ao seu observador um aspecto luxuriante e são componentes constantemente presentes em parques e jardins, transmitindo as características da flora tropical, sendo assim, de grande importância econômica no mercado paisagista (LORENZI, 2010).

Possuem ainda grande força no setor alimentício onde o palmito é o principal produto comercializado, além de ocorrer em algumas regiões o consumo do fruto e o fornecimento das folhas e caules como ração animal (LORENZI, 2010). Dessa forma, a pupunheira se caracteriza como um recurso natural essencial para algumas famílias, que oferece benefícios nutricionais e financeiros (MORA-URPI et al., 1997).

O palmito, produto comercial mais nobre das palmeiras, pode ser obtido de diversas espécies nativas, porém as mais produtivas e, portanto, utilizadas para o cultivo são o *Euterpe edulis* (palmito juçara), a *Bactris gasipaes* (pupunha), a *Syagrus oleracea* (guariroba) e o *Euterpe oleracea* (açaí) (LORENZI, 2010).

O palmito comercializado dessas espécies provinha de extrativismo, obtidos ilegalmente de florestas para a comercialização, sem controle de qualidade e estratégias de manejo (ALVES JUNIOR et al., 2005); com a expansão do mercado e as novas leis ambientais, o cultivo dessas espécies também deve expandir, se destacando aquelas com maior aceitação.

Se as espécies produtoras de palmito fossem cultivadas racionalmente a pressão extrativista sobre as áreas de ocorrência natural dessas palmeiras diminuiria, funcionando como estratégia de controle ambiental. Entre as principais palmeiras produtoras de palmito, como o açaí e a juçara, a pupunheira destaca-se por sua precocidade, rusticidade e elevado perfilhamento, além de o palmito não oxidar após o corte e ser bem aceito no mercado nacional e internacional, além de ser considerada de grande valor ecológico, contribuindo para a conservação do meio ambiente, e possuir caráter conservacionista, pois em cultivos bem conduzidos minimiza os efeitos da erosão e restabelece a fertilidade do solo com o uso de seus resíduos (BERGO; LUNZ, 2000; CHAIMSOHN, 2002).

2.3 Recalcitrância

As sementes de cada espécie podem apresentar comportamentos distintos quanto às respostas a dessecação, a tolerância a baixas temperaturas e a longevidade. Roberts (1973) considerando estas diferenças elaborou a classificação de sementes, dividindo-as em recalcitrantes e ortodoxas. As que apresentavam intolerância a dessecação, às baixas temperaturas e curta longevidade foram denominadas recalcitrantes e as demais, ortodoxas. Alguns anos depois, Ellis et al. (1990) verificou que algumas espécies apresentavam alguns comportamentos semelhantes aos de sementes recalcitrantes e outros aos de ortodoxas, sugerindo classificá-las como intermediárias.

Para Barbedo e Bilia (1998) as diferenças entre o comportamento de sementes recalcitrantes e ortodoxas existem devido à atuação do processo de seleção natural em condições ambientais com características distintas, no qual, provavelmente, as plântulas de sementes ortodoxas, que corresponde a maior parte das espécies cultivadas, precisaram sobreviver a condições adversas, àquelas necessárias para o seu desenvolvimento, e as primeiras que germinaram não sobreviveram. Já as sementes que sobreviveram e produziram plântulas quando as condições se tornaram adequadas, foram selecionadas. Por outro lado, a seleção das recalcitrantes ocorreu, provavelmente, em ambiente com características que propiciava o desenvolvimento de plântulas ao longo de todo o ano e era inadequado ao armazenamento. Sendo assim, as sementes com comportamento ortodoxo que não germinaram imediatamente foram armazenadas secas no solo, onde deterioraram ou germinaram com condições inadequadas, não resistindo à competição com as outras espécies. Talvez, o que tenha ajudado as espécies recalcitrantes sobreviverem nesse ambiente tenha sido a sua característica de desenvolvimento, distinto das ortodoxas, com ausência de dessecação durante o processo de maturação das sementes, se desligando da planta mãe com teor de água elevado e aptas à germinação. Portanto, redireciona os processos metabólicos de desenvolvimento direto para os de germinação, com ausência da secagem (BARBEDO; MARCOS FILHO, 1998; MARCOS FILHO, 2005).

As espécies que produzem sementes com comportamento recalcitrante podem apresentar diferentes graus de recalcitrância, determinado basicamente pelo

genótipo, que pode ser influenciado pelo ambiente. Elas são classificadas, de acordo com suas características em: sementes com recalcitrância mínima, aquelas que apresentam maior tolerância à perda de água, germinação lenta em ausência de quantidade adicional de água, maior tolerância às baixas temperaturas e distribuição subtropical/temperada; com recalcitrância moderada, as que apresentam tolerância moderada à desidratação, velocidade média de germinação em ausência de água adicional, maioria das espécies sensíveis às baixas temperaturas e distribuição tropical; com recalcitrância alta, as que apresentam pouca tolerância à dessecação, germinação rápida em ausência de água adicional, sensível a baixas temperaturas e distribuídas, principalmente, em florestas tropicais e terras úmidas (FARRANT et al., 1997; MARCOS FILHO, 2005).

Apesar da maioria das espécies cultivadas serem ortodoxas e, por isso, amplamente estudadas, as sementes recalcitrantes ganharam espaço quando o país começou a direcionar sua atenção aos problemas ambientais e compreender melhor os ecossistemas tropicais. A partir disso, verificou-se a existência de várias espécies, com grande importância agrícola, florestal e ecológica, que produzem sementes com esse comportamento (BARBEDO, MARCOS FILHO, 1998), a exemplo do açaí (*Euterpe edulis*) (ANDRADE; PEREIRA, 1997), andiroba (*Carapa guianensis*), (FERRAZ; SAMPAIO, 1996), cacau (*Theobroma cacao*) (LEÃO, A.C., 2010), canela (*Cinnamomum zeylanicum* Ness) (SILVA et al., 2012), citros (*Citrus* spp), CARVALHO et al. (2002), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), (CRUZ, 2007), ingá (*Ingá* spp), (BILIA et al., 1998), jabuticaba (*Plinia cauliflora*) (DANNER et al., 2011), jaca (*Artocarpus integrifolia*), (SILVA et al., 2007), mangaba, (*Hancornia speciosa* Gomes) (BARROS et al., 2010), palmito-vermelho (*Euterpe espirosantensis* Fernandes) (MARTINS; BOVI; NAKAGAWA, 2007), jussara (*Euterpe edulis* Mart.), (SALOMÃO et al., 2009), patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) (NAZÁRIO; FERREIRA, 2012), seringueira (*Hevea brasiliensis*) (CICERO et al., 1986), uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess.) (SCALON et al., 2012) e pupunha (*Bactris gasipaes*), (BOVI et al., 2004), dentre outras, encontradas no Brasil.

Considerando a dificuldade de se trabalhar com as sementes recalcitrantes, visto que não toleram o armazenamento prolongado quando se faz necessário, não germinam rapidamente, quando a redução no tempo de produção de mudas reduziria custos, não apresentam uniformidade satisfatória na germinação, dificultando a produção de mudas para implantação de cultivos comerciais e

considerando ainda que muitas das espécies de plantas que produzem sementes com comportamento recalcitrante apresentam como alternativa de propagação o uso de partes vegetativas, que permitem a sua multiplicação, porque insistir em utilizar as sementes como meio de propagação? Mesmo com tais peculiaridades, as sementes dessas espécies não são dispensáveis, pois são necessárias para a composição de banco de germoplasma (MARCOS FILHO, 2005) e para formação de mudas quando há a necessidade de plantio em localidades diferentes de onde provem o material de propagação.

A expansão do cultivo para regiões como o nordeste e sudeste do Brasil, além da Amazônia, gerou elevada necessidade de material de propagação. O uso de sementes tem sido a melhor alternativa para suprir este mercado, comparado com a propagação vegetativa, pois o transporte para estas regiões é menos oneroso, devido ao menor volume e massa de cada indivíduo, suportam condições adversas com menores perdas e são facilmente manuseadas para semeadura (FERREIRA; SANTOS, 1992; NOGUEIRA et al., 1995).

Dessa forma, o conhecimento de todas as etapas de produção de sementes, principalmente das condições de armazenamento exigidas, pode auxiliar na distribuição do material de propagação para as diversas regiões produtoras do país e, conseqüentemente, na expansão da cultura.

2.4 Secagem de sementes

O teor de água das sementes é um fator que afeta a sua capacidade de armazenamento, devendo ser a secagem conduzida com cautela e levando-se em conta os limites que a espécie exige ou permite (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

A redução do teor de água das sementes começa com a transferência da água presente na superfície para o ar que a envolve e, após, a água que esta ligada aos tecidos do interior da semente é movimentada, por diferença de potencial osmótico, para a superfície (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

As sementes ortodoxas continuam a perder água após o término do processo de maturação e não sofrem com sua redução após a maturidade fisiológica. Além de não causar danos ao seu metabolismo, a secagem pode auxiliar na desaceleração do processo de deterioração, chegando a ser considerada a principal técnica para

conservação durante o armazenamento, pois eleva o potencial de conservação, que possui relação inversa entre o grau de umidade e a temperatura ambiente (MARCOS FILHO, 2005; KOHAMA et al., 2006). Diferentes das ortodoxas, as sementes recalcitrantes apresentam comportamento distinto, sem redução do teor de água ao término do processo de maturação e, se a redução continuar, pode ocorrer perdas de potencial fisiológico (HONG; ELLIS, 1996).

O processo de secagem pode causar alterações da morfologia interna das sementes, como a redução do volume celular, que as levam ao colapso, e a desorganização das membranas, considerando que o volume das células recalcitrantes é reduzido mais acentuadamente, comparado às ortodoxas (MARCOS FILHO, 2005). Para Iljin (1957) o dano causado à estrutura celular ocorre mais acentuadamente em células maiores e menos alongadas, características de sementes recalcitrantes. Visto isso, tem-se buscado identificar níveis de dessecação suportados pelo metabolismo e membranas celulares das sementes recalcitrantes, sem causar danos significativos ao seu potencial fisiológico, para que, dessa forma, aumente também o potencial de conservação dessas sementes.

2.5 Radiografia de sementes

São diversos os estudos recentes avaliando a sensibilidade das sementes recalcitrantes à secagem parcial, como para as espécies *Magnolia ovata* (JOSÉ et al., 2011), açai (*Euterpe oleracea* Mart.) (NASCIMENTO; MORAES, 2011), canela (*Cinnamomum zeylanicum* Ness) (SILVA et al., 2012) e uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) (SCALON et al., 2012), mas há falta de estudos que avaliam as alterações estruturais durante a dessecação, como o realizado por Goodman et al. (2005) por meio do teste de raios X (GOMES JUNIOR, 2010).

O teste de raios X é um método recomendado pela *International Seed Testing Association* – ISTA (ISTA, 1995) e pelas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009) e tem sido amplamente estudado, pois se trata de método não destrutivo que permite estabelecer relação de causa e efeito pela comparação com diversos testes fisiológicos como germinação, emergência de plântulas, tetrazólio, envelhecimento acelerado, entre outros (ISTA, 1995; CICERO; BANZATTO JUNIOR, 2003; BRASIL, 2009).

Diversos pesquisadores tem utilizado o teste de raios X como uma importante técnica. Estudos como os de Simak e Gustafs, realizados em 1953 na Suécia, geraram informações científicas que direcionaram novas pesquisas com diversas espécies e com novas aplicações (PUPIM et al., 2008).

Os equipamentos evoluíram durante os anos de pesquisa, passando de equipamentos de difícil manuseio e processamento lento por equipamentos com uso de revelação, em papel fotográfico de raios X, das imagens capturadas, o que tornou mais ágil e prático o processamento, apesar de necessitar de máquina específica para revelação. Com o incremento da informática tornou-se possível a digitalização para análise em computador, com equipamento acoplado, que obtêm imagens instantaneamente digitalizadas para análises precisas em software, como o “*Image-Pro® Plus*” (KAMRA, 1976; CICERO; BANZATTO, 2003; DELL’AQUILA, 2004; GOMES JUNIOR, 2010; SILVA et al., 2012).

Esta técnica, apesar de amplamente estudada, com trabalhos em diversas linhas de pesquisa e espécies, tem sido pouco aplicada. Uma das dificuldades apontadas por Kamra (1976) é o elevado custo de aquisição dos equipamentos. Em publicação recente, Cícero (2010), apontou que no Brasil tem sido realizados estudos técnicos e científicos em centros de pesquisa, contribuindo para aperfeiçoamento do uso do teste de raios X em sementes, o que possibilita a implementação em laboratórios de rotina e até em unidades de beneficiamento de sementes, porém, também aponta o alto custo dos equipamentos como entrave para que esta técnica ainda não tenha sido implementada.

O teste de raios X fornece uma imagem rápida que permite distinguir as sementes desejáveis das que apresentam algum tipo de defeito ou alterações morfológicas indesejáveis, permitindo, sua aplicação em diversas linhas de pesquisa e com diversas espécies (KAMRA, 1976). A diversidade de aplicação do teste de raios X evidencia a criatividade e o empenho dos pesquisadores envolvidos em expandir o conhecimento por reconhecerem o potencial desta técnica.

Existem pesquisas direcionadas à identificação de sementes mal formadas ou vazias, possibilitando o beneficiamento, aumentando a qualidade do lote, como verificado por Pupim et al. (2008) com embaúba (*Pachystachya Trec*), em canafístula (*Peltophorum dubium* Sprengel Taubert), *Cecropia* por Oliveira et al. (2003), aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) por Nassif e Cícero (2006), abóbora (*Cucurbita moschata*) por Carvalho et al. (2009), mamona (*Ricinus communis* L.) por

Carvalho, Alves e Oliveira (2010) e Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) por Pinto et al. (2009).

Outros estudos buscaram a caracterização de formato e tamanho de embrião de sementes, como em *Tecoma stans* L. JUSS. ex KUNTH por Socolowski e Cicero (2008) e sementes de abóbora, melancia, pepino e algodão por Marcos Filho et al. (2010).

Também foi obtido êxito na identificação de danos causados por colheita mecânica de sementes, por meio de raios X, com milho (CICERO; BANZATTO JUNIOR, 2003) e canafístula (*Peltophorum dubium* Sprengel Taubert) (OLIVEIRA et al., 2003), como também em detectar e mensurar o espaço interno vazio, devido à possíveis problemas na formação de sementes de berinjela *Solanum melongena* L. (SILVA et al., 2012).

Alguns pesquisadores realizaram estudos com raios X como técnica direcionada para obter novas informações que auxiliem a compreensão sobre a sensibilidade das sementes recalcitrantes à dessecação, avaliando as alterações da morfologia interna durante o processo de secagem. Goodman et al. (2005) identificou as alterações morfológicas internas de sementes *Quercus rubra* L. durante o processo de secagem, observando a separação entre os cotilédones e entre o pericarpo e os cotilédones, o que permitiu estabelecer relação com a viabilidade das sementes.

Como visto, o estudo da morfologia interna de sementes tem gerado informações científicas importantes, alavancado o conhecimento em todo o processo de produção de sementes, principalmente em se tratando de espécies florestais, pouco almejadas em pesquisas científicas, permitindo o avanço no conhecimento do comportamento dessas espécies (KAMRA, 1976; GOMES JUNIOR, 2010). Porém, ainda são escassas as pesquisas envolvendo o teste de raios X para análise de alterações da morfologia interna de sementes recalcitrantes durante o processo de secagem, não havendo estudos neste sentido com sementes de pupunha.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos Laboratórios de Análise de Imagens e de Análise de Sementes do Departamento de Produção Vegetal (LPV) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP.

As sementes de pupunha utilizadas foram fornecidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizado em Parquera-Açu, SP. No recebimento foi realizada a homogeneização do material e a determinação do teor de água inicial das sementes, pelo método da estufa a 105 ± 3 °C (BRASIL, 2009) por 24 horas utilizando 3 repetições com 5 sementes cada.

Secagem das sementes: foi realizado um processo contínuo de secagem em estufa com circulação de ar a 30 ± 2 °C. A perda de água das sementes foi monitorada e os tratamentos constituídos pela tentativa de decréscimo de 3% do teor de água do anterior, a partir do inicial (testemunha), até o mínimo de 11%. O número de tratamentos teve relação direta com o teor de água inicial das sementes. Cada repetição permaneceu acondicionada em sacos de filó, distribuídas em camada única e aleatoriamente nas prateleiras da estufa.

Para o monitoramento da secagem foram constituídas amostras acondicionadas em sacos de filó, distribuídas na estufa, junto com as amostras de controle, com suas massas iniciais determinadas, por balança analítica com precisão de 0,0001 g, para serem realizadas pesagens a intervalos regulares durante a secagem até atingirem a massa desejada, correspondente ao grau de umidade apropriado ao tratamento.

Os teores de água desejados foram obtidos determinando-se a massa final das amostras correspondentes, utilizando-se da equação descrita por Cromarty, Ellis e Roberts (1985):

$$M_f = \frac{M_i (100 - U_i)}{100 - U_f} \quad (1)$$

,onde:

M_f =massa da amostra (g) após secagem;

M_i =massa da amostra (g) antes da secagem;

U_i = teor de água (%) antes da secagem;

U_f = teor de água (%) desejado após secagem.

Radiografia das sementes: pela inexistência de estudos científicos com radiografia de sementes de pupunha, foi necessária a obtenção de imagens preliminares de algumas sementes com diferentes teores de água para adequar o posicionamento, que permitisse visualizar adequadamente o espaço interno vazio.

Para a obtenção das imagens, foi utilizado o equipamento Faxitron X-ray, modelo MX-20, acoplado ao computador (Core 2 Duo, 3.16 GHz, 2 GB de memória RAM e Hard Disk de 160 GB) e monitor (MultiSync LCD1990SX de 17 polegadas).

O teste de raios X foi realizado em cada semente após a secagem, posicionando-as horizontalmente, para permitir a melhor visualização dos espaços internos vazios das sementes. Elas foram fixadas sobre uma folha de transparência com fita adesiva transparente, pois o formato ovoide a subgloboso dificulta o posicionamento preciso.

Após a obtenção das imagens, as sementes foram distribuídas em placa contendo células individualizadas e numeradas, permitindo a identificação de cada semente e sua respectiva imagem durante todo o processo.

As imagens de raios X foram armazenadas no HD (*hard disk*) do computador para posterior avaliação individual com auxílio do *software* “Image-Pro® Plus”, que define o perímetro e área total da semente e dos tecidos que preenchem o seu interior (endosperma-embrião), gerando valores numéricos correspondentes à relação percentual entre área ocupada pelos tecidos e o espaço interno vazio, permitindo a quantificação dos espaços internos vazios das sementes nos diferentes teores de água (tratamentos), possibilitando a verificação de sua relação com o desempenho fisiológico, avaliado pelo teste de emergência de plântulas.

Para facilitar a discussão, as sementes foram classificadas de acordo com o percentual de área de espaço interno vazio em relação à área total ocupada, formando 7 classes discriminadas na Tabela 1. Após a classificação, foi determinado o percentual de sementes em cada classe de cada tratamento e, em seguida, o percentual em cada classe de sementes viáveis de cada tratamento.

Tabela 1 - Critérios utilizados na avaliação das sementes submetidas ao teste de raios X, classificadas em 7 classes com diferentes intervalos de espaço interno vazio (E.V)

Classes	Intervalo E.V. (%)
1	até 5
2	5 – 9
3	10 – 14
4	15 – 19
5	20 – 24
6	25 – 30
7	Acima de 30.

Teste de emergência de plântulas: Após a obtenção das imagens pelo teste de raios X, as sementes foram semeadas entre areia umedecida a 1 cm de profundidade, em recipiente contendo numeração nas laterais que permitiu a identificação da posição individual das semente. Este permaneceu em ambiente desprovido de controle de temperatura e umidade relativa do ar, no período de 08 de abril à 17 de dezembro de 2011, para avaliação da percentagem e o índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE), com contagens a cada 3 dias, calculado pela equação proposta por Maguire (1962):

$$IVE = (E_1/N_1) + (E_2/N_2) + \dots + (E_n/N_n), \quad (2)$$

onde,

E_1 , E_2 e E_n = número de plântulas emersas nas primeira, segunda, ..., e última contagens, respectivamente;

N_1 , N_2 , ..., N_n = número de dias da semeadura à primeira, à segunda, ..., e à última contagens, respectivamente.

Delineamento experimental: Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições de 50 sementes em doze tratamentos.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade e por análise de regressão, para verificar o comportamento das variáveis em função dos níveis de teores de água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes possuíam inicialmente, em média, 42,8% de teor de água e após 190 horas de secagem atingiram 11,4%, com processo contínuo e progressivo apresentado na Figura 2.

O tempo demandado para secagem foi semelhante aos de estudos realizados por Bovi et al. (2004), sobre os efeitos da desidratação de lotes de sementes de pupunha, onde após 192 horas de secagem o teor de água reduziu de 47 a 38% para 14 a 8%, utilizando método semelhante (câmara seca a $28,5 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$), por Carvalho e Müller (1998) com redução do teor de água das sementes de pupunha de 48% para 12,6% após 168 horas de secagem e por Villalobos, Herrera e Mora-Urpí (1992), com teor de água inicial de 47,1%, e após 120 horas de secagem estas atingiram 23,5%, valores semelhantes ao encontrado neste estudo.

Figura 2 - Tempo (horas) gasto para redução do teor de água (T.A) das sementes de pupunha, pelo método da estufa com circulação de ar à $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Com a secagem das sementes, foram formados os 12 tratamentos com diferentes teores de água (Tabela 2)

Tabela 2- Média de teores de água (T.A.) calculado e obtido com o processo de secagem de sementes de pupunha

Tratamentos	T.A. Calculado (%)	T.A. Obtido (%)
1	43,3	42,8
2	40,3	43,3
3	37,3	36,4
4	34,3	35,8
5	31,3	32,4
6	28,3	26,8
7	25,3	26,6
8	22,3	21,4
9	19,3	18,9
10	16,3	15,1
11	13,3	12,2
12	10,3	11,4

Os teores de água calculados não foram exatamente iguais aos planejados, provavelmente devido à presença de sementes com diferentes dimensões e formas (MORA-URPÍ; WEBER; CLEMENT, 1997), que podem acarretar em taxas diferentes no avanço do processo de secagem, dificultando o seu controle. Ainda assim, os teores de água obtidos estão satisfatoriamente espaçados, permitindo a análise das alterações morfológicas e fisiológicas das sementes durante o processo de secagem (BOVI et al., 2004; CARVALHO; MÜLLER, 1998; FERREIRA; SANTOS, 1993).

Sementes recalcitrantes são sensíveis à dessecação e o grau de tolerância varia de acordo com a espécie, podendo os níveis classificados como de segurança, crítico e letal serem distintos para cada espécie. O grau de umidade de segurança corresponde à umidade que pode ser atingida com a secagem, sem causar prejuízos à viabilidade das sementes. O grau de umidade crítico refere-se ao grau de umidade no qual é detectado o início da perda de viabilidade; o teor de água letal corresponde ao limite abaixo do qual todas as sementes perdem a viabilidade. O conhecimento destes teores e o efeito da secagem parcial são fundamentais para o planejamento e execução do transporte e armazenamento das sementes

(PROBERT; LONGLEY, 1989; HONG; ELLIS, 1992; GARCIA; MORAES; LIMA, 2008; CRUZ; CÍCERO, 2008).

A redução no teor de água das sementes de pupunha foi progressivamente prejudicial à sua qualidade fisiológica, com a redução da porcentagem de plântulas emersas de 55,5 e 65%, nos teores de água inicial de 42,8 e 43,3%, respectivamente, e para 0% nos teores de água finais de 12,2 e 11,4%, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Porcentagem final de plântulas emersas em areia em função do teor de água das sementes de pupunha

A secagem por cinco horas não alterou o teor de água inicial e não afetou negativamente o percentual de emergência de plântulas. A partir deste período de secagem ocorreu redução no percentual de emergência de plântulas, sendo identificado como crítico o teor de água de 36,4%. A partir de 12,2% ocorreu a morte das sementes, portanto, este é o teor de água letal.

Bovi et al. (2004) em estudo com quatro lotes de sementes de pupunha detectaram as faixas de teor de água crítico inferior a 23 a 28%, dependendo do lote, e letal abaixo de 15 a 13%, caracterizado pela mortalidade total das sementes. Ferreira e Santos (1993) verificaram também a redução significativa da viabilidade e do vigor das sementes de pupunha durante o processo de secagem, detectando efeitos danosos aos 36% de teor de água, sendo letal a 10%. Carvalho e Müller

(1998) caracterizaram o teor de água próximo a 30% como de tolerância e, a partir deste, a viabilidade das sementes de pupunha decresceu até a perda total aos 12% de teor de água.

Efeitos semelhantes foram verificados com sementes de açai, que também é uma palmeira tropical, por Nascimento et al, (2007), onde a redução do teor de água a partir de 30,3% levou a prejuízo progressivo da germinação e do vigor das sementes, sendo o limite letal de 15,1%.

Em sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), Cruz (2007), verificou que a redução do teor de água a partir de 30,7% começa a gerar efeitos negativos à germinação e, apesar de não ter detectado os valores letais de secagem, ao atingir 16,1% a germinação foi drasticamente reduzida de 99% para 10%.

Silva et al. (2012) verificaram a sensibilidade à dessecação em sementes de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Ness), com a redução da porcentagem e velocidade de germinação com o avanço do processo de secagem a partir do teor de água de 34,82%

Todas essas espécies apresentaram teor de água inicial elevado e alta sensibilidade à dessecação em níveis entre 30 e 20% de teor de água, característica de sementes com comportamento recalcitrante, pois nestas condições o metabolismo e os mecanismos de reparo destas sementes são afetados negativamente (KING; ROBERTS, 1979; MARCOS FILHO, 2005).

O vigor das sementes recalcitrantes também pode ser afetado negativamente, como pode ser verificado na Figura 4, que expõe a distribuição da emergência de plântulas ao longo do período experimental, as linhas que representam os tratamentos com maiores teores de água (42,8 e 43,3%), são mais inclinadas e atingem valores mais elevados, demonstrando maior velocidade e percentual de emergência de plântulas. Pode-se verificar também que, de modo geral, quanto menor o teor de água das sementes maior o tempo para o início da emergência de plântulas, isto pode estar relacionado ao maior tempo demandado para as sementes mais secas atingirem um nível de hidratação elevado o suficiente para retomar adequadamente o funcionamento do metabolismo de germinação (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; MÜLLER, 1998).

Figura 4 - Distribuição da emergência de plântulas de pupunha no tempo (dias), em função dos diferentes teores de água (T.A.) das sementes

Carvalho e Müller (1998) também verificaram que, além da perda de viabilidade, a emergência de plântulas de pupunha demorou mais, conforme o teor de água das sementes foi reduzido, especialmente a partir de 20,2%.

As diferenças no vigor das sementes também foram observadas pela análise da velocidade de emergência de plântulas (Figura 5), onde os tratamentos com teores de água mais elevados apresentaram maiores velocidades. A partir do teor de água próximo a 36% é que se verifica a redução do índice de velocidade de emergência, coincidindo com o teor de água crítico para a emergência de plântulas, evidenciando, em mais um teste, o prejuízo fisiológico causado pelo processo de secagem das sementes neste nível.

Figura 5 - Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) de sementes de pupunha em função do teor de água (T.A.) durante o processo de secagem

4.1 Radiografias

Nas radiografias obtidas de sementes de pupunha foi possível identificar, pela análise visual, a morfologia interna, com os tecidos representados pelas áreas mais claras e o espaço interno vazio representado pelas áreas mais escuras, como verificado nas Figuras 6 e 7. O teste de raios X também foi eficiente na detecção de

alterações na morfologia interna durante a secagem, com a redução da área ocupada pelos tecidos que formam a estrutura interna das sementes.

Com a digitalização da radiografia, as diferenças de níveis de cinza (claro a escuro) foram detectadas pelo software “*Image-Pro[®] Plus*”, o qual possibilitou a mensuração das áreas ocupadas pelos tecidos e pelos espaços vazios, realizada com ajustes manuais das faixas de níveis de cinza que compõe cada objeto da imagem, neste caso os tecidos e o espaço vazio, por meio do preenchimento com cores distintas. Neste estudo foram adotadas as cores amarelo e vermelho para preenchimento das áreas compostas por pixels referentes às faixas de níveis de cinza que compõe os tecidos da semente e os espaços vazios, respectivamente, como demonstrado nas Figuras 6 e 7.

As imagens das sementes de pupunha geradas não apresentaram imperfeições geométricas ou ruídos, caracterizados por pixels com níveis de cinza distintos dos presentes à sua volta (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2006), não sendo necessária a aplicação de filtros de imagem, técnica que elimina ruídos, para análise com o software “*Image-Pro[®] Plus*”.

Figura 6 - Radiografias de sementes de pupunha com diferentes teores de água (T.A.) e suas respectivas imagens geradas pelo software “Image-Pro® Plus” na análise do percentual de área com espaço vazio (E.V.), em vermelho, em relação à de endosperma, embrião e endocarpo, em amarelo

Figura 7 - Radiografias de sementes de pupunha com diferentes teores de água (T.A.) e suas respectivas imagens geradas pelo software “Image-Pro® Plus” na análise do percentual de área com espaço vazio (E.V.), em vermelho, em relação à de endosperma, embrião e endocarpo, em amarelo

Pela análise das radiografias, foi verificado que com o avanço progressivo do processo de secagem o espaço interno vazio também aumentou, conforme demonstrado na Figura 8. Goodman et al. (2005) utilizando o teste de raios X, com análise visual, verificou que sementes *Quercus rubra* L. também apresentam aumento do espaço interno vazio com o progresso do processo de secagem.

Os tratamentos com maiores teores de água (42,8 e 43,3%) apresentaram menor percentual médio de espaço interno vazio, com praticamente todas as sementes classificadas na Classe 1, coincidindo a predominância desta classe com o alto percentual de emergência de plântulas. Com a secagem até o teor de água próximo a 36% ocorreu o aumento de sementes das Classes 2 e 3 e, conseqüentemente, diminuiu as da Classe 1. Dessa forma, o surgimento destas classes coincidiu com o teor de água considerado crítico. Com a progressão do processo de secagem, diminuiu o número de sementes classificadas nas Classes 1, 2 e 3 e aumentou as das Classes 4, 5, 6 e 7, concomitante a isto, o percentual de sementes da Classe 1 foi muito baixo, entre 9 e 2%, a partir de 26% e inexistente a partir de 12,2% de teor de água (Figura 8), coincidindo com a redução da viabilidade e a morte total das sementes, respectivamente.

Figura 8 - Percentuais de cada classe de intervalo de espaço interno vazio que compõe o conjunto de sementes de cada tratamento de teores de água (T.A.)

Como foi verificado que o percentual de plântulas emersas diminuiu e o espaço interno das sementes aumentou com o avanço do processo de secagem, concordando com o exposto por Marcos Filho (2005), que a retirada de água do interior das sementes pode causar a redução do volume das sementes recalcitrantes, acarretando em danos estruturais nas células e prejudicando o potencial fisiológico, foi elaborado outro gráfico para expor as classes das sementes que geraram plântulas nos diferentes teores de água (Figura 9) e, assim, dispor de mais informações que possam auxiliar na compreensão deste processo.

Figura 9 - Percentuais de cada classe que compõe o conjunto de sementes que geraram plântulas (Emerg.) nos diversos teores de água (T.A.)

A classificação das plântulas emersas de cada teor de água estudado permitiu detectar a predominância da Classe 1 nos teores de água iniciais e das Classes 2 e 3 com o avanço do processo de secagem.

Verifica-se também que as sementes das Classes 4, 5 e 6 tiveram prejuízos no potencial fisiológico, originando menor percentual de plântulas emersas, variando de 4 a 0,5%. A geração de plântulas provenientes de sementes da Classe 4 ocorreu a partir de teor de água próximo a 32% e das Classes 5 e 6 a partir do teor de água próximo a 26%. Para as sementes da Classe 7 não houve emergência de plântulas, com exceção de uma única semente, do tratamento com 21,4% de teor de água e espaço interno vazio de 41,1%.

Nos tratamentos, com teores de água de 42,8 e 43,3%, germinaram basicamente as sementes pertencentes à Classe 1, o que coincide com o maior

potencial fisiológico; dentre as sementes com esses teores de água apenas duas, de cada, não se enquadraram na Classe 1 e sim na Classe 2 e 4, as quais não germinaram, provavelmente por apresentarem danos de formação, detectados pelo teste de raios X (Figura 10). Assim, o teste de raios X permitiu também a identificação de sementes com danos internos, causados, provavelmente, por insetos, fungos ou condições adversas durante o processo de maturação (PAMMENTER; BERJAK, 1999; MARCOS FILHO, 2005; NASCIMENTO; MORAES, 2011).

A partir do teor de água próximo a 36%, germinaram também as sementes enquadradas nas Classes 2 e 3, além da Classe 1 (Figura 9). Nesse teor de água as sementes apresentaram redução do percentual de germinação (Figura 8). Dessa forma, o teor de água próximo a 36%, caracterizado como crítico, coincidiu com o surgimento de sementes emergidas pertencentes às Classes 2 e 3.

Figura 10 - Radiografias de sementes de pupunha com danos internos nos respectivos teores de água (T.A.) e percentual de espaço interno vazio (E.V.) e suas respectivas análises à direita com os espaços internos vazios, em amarelo, e os tecidos (endosperma, embrião e endocarpo), em vermelho

Apesar das alterações da morfologia interna ocorrerem junto com a perda de potencial fisiológico durante o processo de secagem, não se pode prever, por meio

do teste de raios X, se as sementes que possuem determinado percentual de espaço vazio germinarão ou não, pois existem outros fatores atuantes que podem acelerar ou retardar o processo de deterioração sem alterar a morfologia interna das sementes. Goodman et al. (2005) sugeriram que estas alterações de morfologia interna podem ser a expressão de diversos eventos físicos, químicos e fisiológicos envolvidos no processo de secagem que resultam na perda de viabilidade de sementes recalcitrantes. Deste modo, as sementes com maior espaço interno vazio que conseguiram completar o processo de germinação podem ser aquelas que possuíam elevado potencial fisiológico e, assim, conseguiram suportar estes eventos envolvidos na perda de viabilidade.

Com isso, o teste de raios X foi eficiente na identificação de alterações na morfologia interna de sementes de pupunha durante o processo de secagem, permitindo quantificar o percentual de área ocupada pelos tecidos (endosperma, embrião e endocarpo) e pelos espaços vazios nos diferentes teores de água obtidos.

Foi possível identificar padrões de alterações na morfologia interna coincidentes com os teores de água crítico e letal, com predominância de emergência de plântulas provenientes de sementes com até 5% de espaço interno vazio, seguida das com 10 e 15%; a partir destes o percentual de emergência é muito baixo.

5 CONCLUSÕES

As sementes de pupunha ao atingirem 36,4% de teor de água, durante o processo de secagem, tem o seu potencial fisiológico afetado negativamente (teor de água crítico) e, com o avanço do processo de secagem, a partir de 12,2% ocorre a morte das sementes.

O teste de raios X é eficaz na avaliação da morfologia interna das sementes durante a secagem. À medida que aumenta o espaço interno vazio diminui o potencial fisiológico das sementes e acima de 30% não ocorre a emergência de plântulas.

REFERÊNCIAS

- ALVES JÚNIOR, J.; LOPES, A.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; SANTOS, R.A.; BERGAMASCHINE, A.F. Produção de matéria verde em pupunheira irrigada. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 349-356, 2005.
- ANDRADE, A.C.S.; PEREIRA, T.S. Comportamento de armazenamento de sementes de palmito (*Euterpe edulis* Mart.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, 1997.
- BARBEDO, C.J.; BILIA, D.A.C. Evolution of research on recalcitrant seeds. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 121-125, 1998.
- BARBEDO, C.J.; MARCOS FILHO, J. Tolerância à dessecação em sementes. **Acta Botânica Brasileira**, Feira de Santana, v.12, n. 2, p. 145-164, 1998.
- BARROS, D.I.; BRUNO, R.L.A.; NUNES, H.V.; MENDONÇA, R.M.N.; PEREIRA, W.E. Comportamento fisiológico de sementes de Mangaba submetidas à dessecação. **Revista ACTA Tecnologia**, São Luiz, v. 5, n. 1, p. 31-43, 2010.
- BERGO, C.L.; LUNZ, A.M.P. **Cultivo da pupunha para palmito no Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 15 p. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 31).
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York; London: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BILIA, D.A.C.; MARCOS FILHO, J.; NOVEMBRE, A.D.L.C. Conservação da qualidade fisiológica de sementes de *Inga uruguensis* hook. et arn. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 48-54, 1998.
- BINO, R.J.; AARTSE, J.W.; BURG, W.J. van der. Non destructive X-ray of Arabidopsis embryo mutants. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, p. 167-170, 1993.
- BOVI, M.L.A.; MARTINS, C.C.; SPIERING, S.H. Desidratação de sementes de quatro lotes de pupunheira: efeitos sobre a germinação e o vigor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 109–112, jan./mar. 2004.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas; manual de ajuda**. São José dos Campos, 2006.
- _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.
- BURG, W.J. van der; AARTESE, J.W.; ZWOL, R.A. van; JALINK, H.; BINO, R.J. Predicting tomato seedling morphology by X-ray analysis of seeds. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, n. 2, p. 258–263, 1994.

- CARVALHO, J.A.; PINHO, E.V.R.V.; OLIVEIRA, J.A.; GUIMARÃES, R.M.; BONOME, E.T. Qualidade de sementes de limão-cravo (*Citrus limonia* Osbeck) durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 286-298, 2002.
- CARVALHO, J.E.U.; MULLER, C.H. Níveis de tolerância e letal de umidade em sementes de pupunheira, *Bactris gasipaes*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 20, n. 3, p. 283-389, 1998.
- CARVALHO, M.L.M.; ALVES, R.A.; OLIVEIRA, L.M. Radiographic analysis in castor bean seeds (*Ricinus communis* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1 p. 170-175, 2010.
- CARVALHO, M.L.M.; SILVA, C.D.; OLIVEIRA, L.M.; SILVA, D.G.; CALDEIRA, C.M. Teste de raios x na avaliação da qualidade de sementes de abóbora. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2009.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.
- CHAIMSOHN, F.P. **Desenvolvimento de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) cultivada para palmito em diferentes regiões do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2002. 54 p. (IAPAR. Boletim Técnico, 67).
- CICERO, S.M. Aplicação de imagens radiográficas no controle de qualidade de sementes: análise de imagens. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 20, n. 3, p. 48-51, 2010.
- 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**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 29-36, 2003.
- CICERO, S.M.; MARCOS FILHO, J.; TOLEDO, F.F. Efeitos do tratamento fungicida e de três ambientes de armazenamento sobre a conservação de seringueira. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 43, n. 2, p. 763-787, 1986.
- CROMARTY, A.S.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. **Design of seed storage facilities for genetic conservation**. Rome: IPGRI, 1985. 100 p.
- CRUZ, E.D. Drying and germination of cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.) seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 197-201, 2007.
- CRUZ, E.D.; CICERO, S.M. Sensitivity of seed to desiccation in cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex. Spreng.) K. Schum. – STERCULIACEAE. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 5, p. 557-560, 2008.

DANNER, M.A.; CITADIN, I.; SASSO, S.A.Z.; AMBROSIO, R.; WAGNER JÚNIOR, A. Armazenamento a vácuo prolonga a viabilidade de sementes de jaboticabeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n.1, p. 246-252, 2011.

DELL'AQUILA, A. Application of a computer-aided image analysis system to evaluate seed germination under different environmental conditions. **Italian Journal Agronomy**, Bari, v.8, n. 1, p. 51-62, 2004.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behavior? I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, p. 1167-1174, 1990.

FARRANT, M.J.; PAMMENTER, N.W.; BERJAK, P.; WALTERS, C. Subcellular organization and metabolic activity during the development of seeds that attain diferente levels of desiccation tolerance. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 7, n. 2, p. 135-144, Sept. 1997.

FERRAZ, I.D.K.; SAMPAIO, P.T.B. Métodos simples de armazenamento das sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D.C. Meliaceae). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 26, n. 3, p.137-144, 1996.

FERREIRA, S.A.N.; SANTOS, L.A. Viabilidade de sementes de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 22, n. 3, p. 303-307, 1992.

_____. Efeito da velocidade de secagem sobre a emergência e vigor de sementes de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 23, n. 1, p. 3-8, 1993.

GARCIA, L.C.; MORAES, R.P. de; LIMA, R.M.B. de. Determinação do grau crítico de umidade em sementes de *Cenostigma tocantinum* Ducke. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 172-176, 2008.

GOODMAN, R.C.; JACOBS, D.F.; KARRFALT, R.P. Evaluating desiccation sensitivity of *Quercus rubra* acorns using X-ray image analysis. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, p. 2823-2831, 2005.

GOMES JUNIOR, F.G. Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes. Análise de Imagens. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 20, n. 3, p.33-39, 2010.

HONG, T.D.; ELLIS, R.H. Optimum air-dry seed storage environments for arabica coffee. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 20, n. 3, p. 547-560, 1992.

ILJIN, W.S. Drought resistance in plants and physiological processes. **Annual Review of Plant Physiology**. Palo Alto, v. 8, p. 257-274, 1957.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. International rules for testing seed. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 13, n. 2, p. 300-520, 1995.

JOSÉ, A.C.; DA SILVA, E.A.A.; DAVIDE, A.C.; MELO, A.J.S.; TOOROP, P.E. Effects of drying rate and storage time on *Magnolia ovata* Spreng. seed viability. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 39, p. 425-434, 2011.

KAMRA, S.K. Use of X-ray radiography for studying seed quality in tropical forestry. **Studia Forestalia Suecica**. Stockholm, v. 131, 1976. 34p.

KING, M.W.; ROBERTS, E.H. **The storage of recalcitrant seeds: achievements and possible approaches**. Rome: IBPGR. 1979. 96 p.

KOHAMA, S.; MALUF, A.M.; BILIA, D.A.C.; BARBEDO, C.J. Secagem e armazenamento de sementes de *Eugenia brasiliensis* LAM. (Grumixameira). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 1, p. 72-78, 2006.

LEÃO, A.C. **O cultivo do cacau (*Theobroma cacao* L.) no Brasil**. Itabuna: Gráfica Allana, 2010. 88 p.

LORENZI, H. **Flora brasileira: Arecaceae (palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 384 p.

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

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba, FEALQ, 2005. 495 p.

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.

MARTINS C.C.; BOVI M.L.A.; NAKAGAWA J. Qualidade fisiológica de sementes de palmitero-vermelho em função da desidratação e do armazenamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 188-192, 2007.

MENEZES, N.L.; CÍCERO, 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, set./out 2005.

MORA-URPÍ, J.; WEBER, J.C.; CLEMENT, C.R. **Peach palm. *Bactris gasipaes* Kunth: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1997. n. 20, 83 p.

NASCIMENTO, W.M.O.; MORAES, M.H.D. Fungos associados a sementes de açaí: efeito da temperatura e do teor de água das sementes durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 415-425, 2011.

NASCIMENTO, W.M.O.; NOVENBRE, A.D.L.C.; CÍCERO, S.M. Consequências fisiológicas da dessecação em sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 38-43, 2007.

NASSIF, D.S.P.; CÍCERO, S.M. Avaliação de sementes de acerola por meio de raios-x. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 542-545, dez. 2006.

NAZÁRIO, P.; FERREIRA, S.A.N. Emergência de plântulas de pataú (*Oenocarpus bataua* Mart.) em função do dessecamento das sementes. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 22, n.1, p. 22-25, 2012.

NOGUEIRA, O.L.; CALZAVARA, B.B.G.; MULLER, C.H.; CARVALHO, C.J.R.; GALVÃO, E.U.P.; SILVA, H.M.; RODRIGUES, J.E.L.F.; CARVALHO, J.E.U.; OLIVEIRA, M.S.P.; ROCHA NETO, O.G.; NASCIMENTO, W.M.O. **A cultura da pupunha**. Brasília: Embrapa, SPI, 1995. 50 p. (Coleção Plantar, 25).

OLIVEIRA, L.M., CARVALHO, M.L.M., DAVIDE, A.C. Utilização do teste de raios-x na avaliação da qualidade de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p.116-120, 2003.

OLIVEIRA, L.M.; CARVALHO, M.L.M.; GUIMARÃES, R.M.; MASETTO, T.E. Avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia serratifolia* Vahl Nich. e *T. impetiginosa*(Martius ex A. P. de Candolle) Standley - (Bignoniaceae) pelo teste de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 138-143, 2004.

PAMMENTER, N.W.; BERJAK, P. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 9, p. 13–37, 1999.

_____. Evolutionary and ecological aspects of recalcitrant seed biology. London. **Seed Science Research**, Wallingford, v.10, p. 301-306. 2000.

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**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 195-2001, 2009.

PROBERT, R.J.; LONGLEY, P.L. Recalcitrant seed storage physiology in three aquatic grasses (*Zizania palustris*, *Spartina anglica* and *Portesia coarctata*). **Annals of Botany**, New York, v. 63, n. 1, p. 53-63, 1989

PUPIM, T.L.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; CARVALHO, M.L.M.; CÍCERO, S.M. Adequação do teste de raios x para avaliação da qualidade de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 28-32, 2008.

ROBERTS, E.H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, p. 499-514, 1973.

SALOMÃO, A.N.; LOPES, A.O.; LOPES, G.O.; SCARIOT, A. Comportamento germinativo de sementes de *Euterpe edulis* MART. procedentes de mata de galeria. **Revista Ciência Agrária**, Belém, n. 51, p. 51-67, 2009.

SCALON, S.P.Q.; NEVES, E.M.S.; MASETO, T.E.; PEREIRA, Z.V. Sensibilidade à dessecação e ao armazenamento em sementes de *Eugenia pyriformis* Cambess. (Uvaia). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 269-276, mar. 2012.

SILVA, K.B.; ALVES, E.U.; BRUNO, R.L.A.; SANTOS, S.S.; BARROSO, L.M. Tolerância à dessecação de sementes de *Cinnamomum zeylanicum* Ness. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 269-276, mar. 2012.

SILVA, T.T.A.; SOUZA, L.A OLIVEIRA, L.M. GUIMARÃES, R.M. Temperatura de germinação, sensibilidade à dessecação e armazenamento de sementes de jaqueira. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 436-439, 2007.

SILVA, V.L.; MÔRO, F.V.; DAMIÃO FILHO, C.F.; MÔRO, J.R.; SILVA, B.M.S. e; CHARLO, C.O. Morfologia e avaliação do crescimento inicial de plântulas de *Bactris gasipaes* Kunth. (Arecaceae) em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 477-480, dez. 2006.

SILVA, V.N.; CICERO, S.M.; BENNETT, M. Relationship between eggplant seed morphology and germination. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 597-604, 2012.

SIMAK, M.; GUSTAFSSON, A. X-ray photography and sensitivity in forest tree species. **Hereditas**, Landskroma, v. 39, n. 3/4, p. 458-468, 1953.

SOCOŁOWSKI, F.; CÍCERO, S.M. Caracterização morfológica de embriões por imagens de raios x e relação com a massa e a qualidade fisiológica de sementes de *Tecoma stans* L. JUSS. ex KUNTH (Bignoniaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 200-208, 2008.

VILLALOBOS, R.; HERRERA, J.; MORA-URPÍ, J. Germinacion de la semilla de pejibaye (*Bactris gasipaes*) III. Efecto del contenido de agua y de las condiciones de almacenamiento. **Agronomia Costarricense**, Costa Rica, v. 16, n. 1, p. 69-76, 1992.

YOKOMIZO, G.K.I.; FARIAS NETO, J.T. Caracterização fenotípica e genotípica de progênies de pupunheira para palmito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 67-72, 2003.