

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

HIGROSCOPICIDADE E CRIOPRESERVAÇÃO DE  
AQUÊNIOS DE *Anacardium humile* St. Hil.

Autora: Karine Feliciano Barbosa  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana de Fátima Sales

Rio Verde - GO  
Fevereiro – 2015

Barbosa, Karine Feliciano

B238h Higroscopicidade e criopreservação de aquênios de *Anacardium humile* St. Hil./ Karine Feliciano Barbosa. – Rio Verde. – 2015.  
49 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) –  
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, 2015.

Orientador: Doutora em Agronomia. Juliana de Fátima Sales.

#### Bibliografia

Cajuzinho-do-cerrado. 2. germinação. 3. armazenamento. 4 . higroscopicidade.  
5 . atividade de água I. Título. II. Instituto Federal Goiano – Campus Rio  
Verde.

634.6

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

HIGROSCOPICIDADE E CRIOPRESERVAÇÃO DE  
AQUÊNIOS DE *Anacardium humile* St. Hil.

Autora: Karine Feliciano Barbosa  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana de Fátima Sales

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. – Campus Rio Verde - Área de concentração Ciências Agrárias - Agronomia.

Rio Verde - GO  
Fevereiro - 2015

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

HIGROSCOPICIDADE E CRIOPRESERVAÇÃO DE *Anacardium humile*  
St Hil.

Autora: Karine Feliciano Barbosa  
Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de  
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 20 de fevereiro de 2015.

Prof<sup>a</sup>. Dra. Raphaela Christina Costa Gomes  
Avaliadora externa  
UEG - Anápolis

Prof. Dr. Osvaldo Resende  
Avaliador interno  
IF Goiano/RV

Prof<sup>a</sup>. Dra. Juliana de Fátima Sales  
Presidente da banca  
IF Goiano/RV

Dr. Jacson Zuchi  
Avaliador interno  
DCR/FAPEG - IF Goiano/RV

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora, por me dar saúde e força para conseguir chegar até este momento. Aos meus pais, Jesuina e Lucio Mar, pelo amor inarrável e sem medidas, e por me incentivarem em todos os momentos da minha vida e por dar oportunidades que nunca tiveram, também a minha irmã Meyriele, pelo carinho.

Durante a vida várias pessoas passam, mas algumas levamos mesmo que em pensamento pelo resto de nossa vida e estas pessoas fizeram parte do momento em que estive no mestrado, são elas, a Érica, que iniciou o doutorado, na mesma época em que iniciei o mestrado, o João Paulo, que ressurgiu em um momento de bastante desencorajamento. O tempo passou e novos alunos chegaram e Ana Lúcia, foi e está sendo uma parceira, e ainda, o pesquisador Jacson, que colaborou em todos os meus trabalhos com sua grande experiência.

Ao pessoal dos laboratórios de sementes, pós-colheita e anatomia, principalmente ao Daniel, Artur, Douglas, Kenedy, Pedro e Patrícia.

Não seria possível citar todos neste momento, mas agradeço a todos que contribuíram para o meu sucesso, aos meus ex-professores. Aos que sempre estão presentes na minha vida, em especial a minha ex-orientadora a professora Anailda Angélica.

Aos meus coorientadores, em especial ao professor Osvaldo, que tanto acrescentou e contribuiu para o meu crescimento acadêmico. E, por fim, e não menos importante a professora Juliana, pela aceitação em me orientar e pelos conhecimentos transmitidos.

A professora Raphaela Christina Costa Gomes, por ter aceitado fazer parte deste momento tão especial, como membro da banca avaliadora e a UEG pela liberação.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao programa de pós graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela oportunidade deste.

À FAPEG, pelo projeto financiado no Edital n. 005/2012 da FAPEG, intitulado: Criopreservação e manutenção de bancos de germoplasmas *in vivo* de espécies nativas do Cerrado com potencial frutífero e medicinal, à direção do Parque Nacional das Emas, pela liberação da coleta dos frutos de caju-do-cerrado e a CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

KARINE FELICIANO BARBOSA, filha de Lucio Mar Barbosa Viêira e Jesuina Feliciano Barbosa, nasceu em Santa Helena de Goiás, Estado de Goiás, em 9 de março de 1990.

Em março de 2008, iniciou na Graduação de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Goiás - Unidade de Santa Helena de Goiás, GO, graduando-se em março de 2013.

Em março de 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, em nível de Mestrado, na área de Tecnologia de sementes e pós-colheita de produtos vegetais, submetendo-se à defesa da dissertação, requisito indispensável para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia, em fevereiro de 2015.

## ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELA.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES.....	x
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	14
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1 Cajuzinho-do-cerrado.....	16
1.2 Higroscopicidade.....	17
1.3 Criopreservação.....	18
1.4 Referências bibliográficas.....	19
OBJETIVO GERAL .....	22
CAPÍTULO I .....	23
Isotermas de dessorção e calor isostérico de aquênios de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.).....	23
Resumo.....	23
Abstract.....	24
Introdução .....	24



Material e métodos.....	25
Resultados e discussão.....	29
Conclusão.....	34
Referências bibliográficas.....	34
CAPÍTULO II.....	37
Qualidade fisiológica de aquênios de <i>Anacardium humile</i> St. Hil., criopreservados com diferentes teores de água.....	37
Resumo .....	37
Abstract.....	37
Introdução .....	38
Material e métodos.....	39
Resultados e discussão.....	41
Conclusão.....	45
Referências bibliográficas.....	45
CONCLUSÃO GERAL.....	49

## ÍNDICE DE TABELA

	Página
<b>CAPÍTULO I</b>	
TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de sementes de produtos vegetais. ....	26
TABELA 2. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium Humile</i> St. Hil.), obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal). ....	29
TABELA 3. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium Humile</i> St. Hil.) com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ , %), erros médios relativo (P, %) e estimado (SE, decimal), <i>Qui</i> -quadrado ( $\chi^2$ , decimal) e coeficientes dos modelos ajustados (a, b e c). ....	30
<b>CAPÍTULO II</b>	
TABELA 1. Germinação de aquênios de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água. ....	41
TABELA 2. Índice de velocidade de germinação de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água. ....	42

TABELA 3. Comprimento de raiz de plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água.....	43
TABELA 4. Comprimento da parte aérea de plântulas de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água.....	44
TABELA 5. Condutividade elétrica de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO I</b>	
FIGURA 1: (A) – plantas de caju-do-cerrado; (B) – fruto de caju-do-cerrado; (C) – aquênios sobre sílica gel para secagem.....	25
FIGURA 2. Isotermas de dessorção de água para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.), estimadas pelo modelo de Copace, para diferentes condições de temperatura e atividades de água. ....	32
FIGURA 3. Calor isostérico integral de dessorção para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado ( <i>Anacardium humile</i> St. Hil.) em função do teor de água de equilíbrio. ....	33
<b>CAPÍTULO II</b>	
FIGURA 1: (A) – fruto de caju-do-cerrado; (B) – despolpa e separação dos aquênios/ uso de linha nylon; (C) – aquênios sobre sílica gel para secagem; (D) Comprimento de plântula.....	39

## LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

a	Coeficiente dos modelos	
Aw	Atividade de água	decimal
b	Coeficiente dos modelos	
b.s.	Base seca	
b.u.	Base mida	
B.O.D	Demanda Bioquímica do Oxignio	
c	Coeficiente dos modelos	
GLR	Graus de liberdade do modelo (número de observaes menos o número de parâmetros do modelo).	
IVG	ndice de Velocidade de Germinao	
L	Calor latente de vaporizao da água livre	$\text{kJ kg}^{-1}$
LCC	Líquido da Castanha do Caju	
n	Número de observaes experimentais	
P:	Erro médio relativo	%
pp	Pontos percentuais	%
Qst	Calor isostérico integral de soro	$\text{kJ kg}^{-1}$
R	Constante universal dos gases	$8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinao	%
SE	Erro médio estimado	
T	Temperatura	C
Ta	Temperatura absoluta	K

TALC	Teor de água limite para criopreservação	
$x^2$	Qui-quadrado	
Xe	Teor de água de equilíbrio	% b.s.
Y	Valor experimental	
$\hat{Y}$	Valor estimado pelo modelo	
$\Delta h_{st}$	Entalpia diferencial	$\text{kJ kg}^{-1}$

## RESUMO

BARBOSA, KARINE FELICIANO, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, fevereiro de 2015. **Higroscopicidade e criopreservação de aquênios de *Anacardium humile* St. Hil.** Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Juliana de Fátima Sales. Coorientadores: Dr. Osvaldo Resende e Dr. Glauter Lima Oliveira.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar os aquênios (*Anacardium humile* St. Hil.) por meio de criopreservação e higroscopicidade. Os aquênios foram coletados no Parque Nacional das Emas (18° 6' 23" S, 52° 55' 40" W) altitude: 820m, despulpados e em seguida submetidos a secagem em sílica gel a temperatura de 25±2 °C até atingirem os teores de água de 14, 12, 8 e 5% b.u. Após a secagem, os aquênios foram armazenados em nitrogênio líquido a -196°C por 10 dias e, posteriormente, submetidos a três métodos de descongelamento: lento/gradual, rápido e em micro-ondas. Foram avaliados o teor de água, a germinação, o índice de velocidade de germinação, a condutividade elétrica e o comprimento de plântula. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 4x3. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Após a secagem, foram determinadas as isotermas de dessorção pelo método estático indireto, e a atividade de água (Aw) medida por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. A

atividade de água foi determinada sob diferentes temperaturas, sendo que os aquênios foram acondicionados em B.O.D., regulada a 10, 20, 30 e 40 °C. Os dados de teor de água de equilíbrio higroscópico foram ajustados aos diferentes modelos matemáticos. Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi realizada análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Houve maior qualidade fisiológica de aquênios de cajuzinho-do-cerrado com teores de água de 12 e 14% b.u., mas o armazenamento criogênico pode ser realizado com até 8% b.u., sem causar prejuízos à qualidade fisiológica. O modelo de Copace foi o que melhor representou a higroscopicidade dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado. O calor isostérico integral de dessorção dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado para a faixa de teor de água de 4,51 a 13,40 (% b.s.) varia de 2734,82 a 2548,49 kJ kg<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVES:** cajuzinho-do-cerrado, germinação, armazenamento, higroscopicidade, atividade de água



## ABSTRACT

BARBOSA, KARINE FELICIANO, Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - Campus Rio Verde, February 2015. Hygroscopicity and cryopreservation of *Anacardium humile* St. Hil achenes. Advisor: Dr. Juliana de Fátima Sales. Co-Advisors: Dr. Osvaldo Resende and Dr. Glauter Lima Oliveira.

This work aims to evaluate the seeds (*Anacardium humile* St. Hil.) through cryopreservation and hygroscopicity. The seeds were collected in Emas National Park (18 ° 6 '23 "S, 52 ° 55' 40" W) at 820m of altitude pulped and then subjected to drying in gel silica at a temperature of  $25 \pm 2$  ° C until achieve the water levels of 14, 12, 8 and 5% b.u. After drying, the seeds were stored in liquid nitrogen at -196°C for 10 days and, then, subjected to three thawing methods: slow/progressive, fast and microwave. There were evaluated the water content, germination, germination rate index, electrical conductivity and seedlings length. A completely randomized design in a factorial 4x3 was used. Data was subjected to analysis of variance and means compared by Tukey test at 5% significance level. After drying, desorption isotherms by the indirect static method were determined, and water activity ( $A_w$ ) measured by the Hygropalm Model Aw1 equipment. Water activity was determined at different temperatures, and the seeds were placed in B.O.D., set at 10, 20, 30 and 40 ° C. Data of hygroscopic equilibrium

water content were adjusted on different mathematical models. To adjust the mathematical models, non-linear regression analysis was performed, using the Gauss Newton method, through statistical program. There was a higher physiological quality of cerrado-cashew achenes with 12 and 14% b.u. water contents, but cryogenic storage can be performed with up to 8% b.u. without causing damage to the physiological quality. The Copace model is the one that best represents the hygroscopicity of cajuzinho-do-cerrado achenes. The full isosteric heat of desorption of cerrado-cashew achenes with water content from 4.51 to 13.40 (% b.s.), ranging from 2,734.82 to 2,548.49 kJ kg<sup>-1</sup>.

**KEY WORDS:** cajuzinho-do-cerrado, germination, storage, hygroscopicity, water activity

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 Cajuzinho-do-cerrado

*Anacardium humile* St. Hil. pertence à família Anacardiaceae a qual possui cerca de quatorze gêneros, 54 espécies apresentando porte arbusto a subarbusto, estendendo em todo território nacional. Ocorre em todas as regiões do Brasil, sendo nativa, sucede na Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado apresentando vegetação típica do Cerrado (Silva-Luz, 2013).

Conhecido popularmente por cajuzinho-do-cerrado e cajuí, possui porte arbustivo, com 0,60 a 0,80m de altura, o pseudofruto tem coloração amarelada tendendo ao vermelho, uma planta é capaz de produzir de 10 a 50 frutos, a frutificação ocorre de dezembro a fevereiro (Silva et al., 2001), sendo seu fruto verdadeiro o aquênio de coloração marrom, uma vez que este é seco, indeiscente, pequeno e simples que contém apenas uma única semente Mauseth (1988).

Consumido *in natura*, ou ainda pode ser processado para a separação do suco da polpa, sendo o suco utilizado para refrescos e bebidas, já a polpa é utilizada para compotas e doces em geral, podendo ainda ser consumido a castanha torrada (Almeida et al., 1998). A casca da castanha do caju apresenta um líquido denominado de LCC que é bastante utilizado na indústria química para produzir polímeros. Este óleo representa cerca de 25% da massa da castanha, sendo composto ainda, pelo ácido anacárdico, o cardol e o cardanol (Kubo et al., 1987 citado por Vieira et al., 2010).

Todas as partes da planta são empregadas na medicina caseira em várias regiões do país, com indicações baseadas na tradição: o óleo do pericarpo do fruto é usado para afecções da pele, a infusão das folhas ou da casca do caule subterrâneo é

indicada contra diarreia, o suco dos pseudofrutos é antissifilítico, o decocto das inflorescências é usado para baixar o teor de glicose nos diabéticos (Lonrenzzi, 2008).

## 1.2 Higroscopicidade

A higroscopicidade se refere à afinidade com água, ou seja, o comportamento hidrófilo de algumas substâncias em relação à água. Deste modo, a composição química das sementes afeta a sua captação ou liberação com a água (Marcos Filho, 2005). A tendência de produto em absorver água do ambiente determina sua higroscopicidade, que é parâmetro fundamental de qualidade de produtos agrícolas (Tocon et al., 2009).

As condições do ambiente e o teor de água dos materiais denotam a relação de equilíbrio, que pode ser expressa na capacidade do produto ceder ou absorver água (Corrêa et al., 2005a). As isotermas de sorção descrevem a relação entre o teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) e a atividade de água ( $A_w$ ) do produto em determinada temperatura (Kaymak – Ertekin; Sultanoglu, 2001).

O comportamento higroscópico é utilizado para descrever modelos distintos para expressar a umidade relativa do ar e temperatura em função do teor de água, modelos que são utilizados para diversos produtos agrícolas e verificados por diversos autores (Corrêa et al., 2005b).

O estudo das isotermas de sorção e do teor de água dos alimentos é utilizado para estimar o tempo de secagem, caracterizando o produto e ainda, garantir a vida útil (Alexandre et al., 2007) e ainda, para definir os limites de desidratação do produto e determinar os teores de água ideal para o início da atividade de microrganismos, que causam deterioração no produto (Resende et al., 2006).

A classificação as isotermas de sorção forma definidas em cinco tipos gerais. As isotermas de sorção do tipo I e do tipo II são denominadas isotermas de Langmuir e sigmoidal ou de estrutura em S, respectivamente, para os demais tipos não foi verificado nenhum nome em específico. Os tipos II e III têm uma apertada semelhança com os tipos IV e V, com a ressalva que a máxima adsorção acontece em pressões abaixo da pressão de vapor de água do meio (Brunauer et al., 1938).

As características das isotermas de sorção demonstram a capacidade do produto em reter ou liberar água para o meio que o circunda, em temperatura e umidade relativa controlada (Medeiros, 2006), além disso, determinar a quantidade de energia

necessária ao processo de secagem, que é utilizada para expressar os valores do calor isostérico de sorção (Resende, et al., 2006).

O calor isostérico de sorção é importante parâmetro para ter a estimativa da demanda energética nos processos de desidratação e secagem de materiais biológicos. Sendo, essencial nos estudos de secagem e armazenamento de produtos agrícolas (Costa et al., 2013).

### 1.3 Criopreservação

A criopreservação é a técnica em que são utilizadas temperaturas extremamente baixas para reduzir ou inibir completamente o metabolismo celular (Batista, 2000), permitindo a manutenção da diversidade genética (Marcos Filho, 2005). Técnicas criogênicas podem garantir a preservação de material biológico por longos períodos, visto que quando o material vegetal é exposto a temperaturas ultrabaixas a intensidade do processo deteriorativo diminui expressivamente. Com isso, o material biológico pode ser preservado por período indeterminado de tempo (Harding, 2004; Benson, 2008).

A capacidade de tecidos vegetais sobreviverem à criopreservação depende da sua tolerância à desidratação. O desenvolvimento do protocolo de criopreservação requer conhecimento de mecanismos bioquímicos e biofísicos, associados com a resposta dos tecidos à desidratação e ao congelamento (Stushnoff e Seufferheld, 1995).

O uso do nitrogênio líquido como meio de armazenamento implica que as sementes resistam à exposição sem sofrer danos maiores a sua viabilidade, e para isso, o teor de água da semente é fator crítico da criopreservação (Cunha, 1996). O teor de água das sementes interfere no processo de criopreservação (Coelho e Cavalcanti Mata, 2005).

A técnica da criopreservação oferece várias vantagens como: espaço reduzido a ser ocupado pelo banco de germoplasmas mantido em nitrogênio líquido; simplicidade de manejo; e ainda, o baixo custo de imissão, sendo que, não exige sistema de refrigeração e eletricidade (Ameida, et al., 2002).

Portanto, para que a preservação de material genético vegetal por meio de armazenamento aconteça de forma adequada, verifica-se a utilização de técnicas de

criopreservação, assim como, a atividade de água com o intuito de conservar e manter as características do material para a perpetuação das espécies.

Diante de tais informações justifica-se a relevância deste trabalho a fim de elucidar os estudos sobre a conservação das espécies do Cerrado através das propriedades de sementes nativas por meio de processos que visam a durabilidade e a longevidade das sementes.

#### 1.4 Referências bibliográficas

ALEXANDRE, H.V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. DE M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.11-20, 2007.

ALMEIDA, F. A. C.; MORAIS, A. M. DE; CARVALHO, J.M.F.C.; GOUVEIA, J.P.G. Crioconservação de sementes de mamona das variedades nordestina e pernambucana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 295-302, 2002.

ALMEIDA, S.P.; PROENÇA, C.E.B.; SANO, S.M.; RIBERIRO, J.F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa, 1998. 464p.

BATISTA, R.C. **Cultivo *in vitro* e criopreservação de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.)**. 2000. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB.

BENSON, E.E. Cryopreservation of phytodiversity: a critical appraisal of theory and practice. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.27, n.3, p.141-219, 2008.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layer. **Journal of American Chemistry Society**, v. 60, n. 1, p. 309-312, 1938.

COELHO, R.R.P.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. Teor de umidade limite para criopreservação de sementes de algodão colorido. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 5, 2005. **Anais...** Salvador: EMBRAPA, 2005. CDRom.

CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, n.1, p.39-48, 2005a.

- CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.126-134, 2005b
- COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C. Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.412-418, 2013.
- CUNHA, R. da. Métodos alternativos para conservação de germoplasma-semente. In: Puignau, J. P. (Ed.) Conservación de germoplasma vegetal. Montevideo: **IICA**, 1996. p. 123-128. (Diálogo, 45).
- HARDING, K. Genetic integrity of cryopreserved cells: a review. **Cryo Letters**, v. 25, n. 1, p. 3-22, 2004.
- KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. **Journal of Food Engineering**, n°. 47, p. 225-231, 2001.
- LONRENZZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa : Plantarum, v. 1, 370p, 2008.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. FEALQ. Piracicaba, 495p, 2005.
- MEDEIROS, M.L. Sorption isotherms of cocoa and cupuaçu products. **Journal of Foods Engineering**, v. 73, n. 4, p. 402-406, 2006.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINAZZO, A. P.; RIBEIRO, R. M. Isotermas e calor isostérico de dessorção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.31, n. 1, p. 86-94. 2006.
- SILVA, D.B.; SILVA, J.A.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ANDRADE, L.R.M. **Frutas do Cerrado**. Embrapa, Brasília, 178 p, 2001.
- SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J.R. Anacardiaceae in: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB44>>. Acesso em: 01 Nov. 2013.
- STUSHNOFF, C.; SEUFFERHELD, M. Cryopreservation of apple (*Malus* species) genetic resources. In: Bajaj, Y.P.S. (Ed.) **Biotechnology in Agriculture and Forestry**, vol. 32, Cryopreservation of Plant Germplasm, v.32, p. 87-101, 1995.
- TOCON, R.V.et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n.3-4, p. 215-221, 2009.

VIEIRA, R. F.; AGOSTINI-COSTA, T.S.; SILVA, D.B.; SANO, S.M.; FERREIRA, F.  
R. **Frutas nativas da região centro-oeste do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2010. 362p.



## OBJETIVO GERAL

- Estudar o processo de higroscopicidade de aquênios e avaliar a viabilidade das sementes cajuzinho-do-Cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.) por meio da criopreservação.
- Identificar o teor de água limite (TALC) e a melhor forma de descongelamento para a criopreservação de aquênios de cajuzinho-do-cerrado;
- Determinar as isotermas de dessorção dos aquênios para diversas condições de temperatura e atividades de água, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor representa o fenômeno e, assim sendo, este será utilizado para determinar o calor isostérico de dessorção.

## CAPÍTULO I

### Isotermas de dessorção e calor isostérico de aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.)

Resumo: Objetivou-se neste trabalho, determinar as isotermas de dessorção dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.) em diversas condições de temperatura e atividades de água, bem como selecionar aquele que melhor representa o fenômeno e determinar o calor isostérico de dessorção. Os aquênios foram coletados no Parque Nacional das Emas (18° 6' 23" S, 52° 55' 40" W) altitude: 820m, no município de Mineiros - GO, despolidos e em seguida submetidos a secagem em sílica gel a temperatura de 25±2°C, até atingirem os teores de água de 17,6; 13,6; 11,1; 8,7; 5,3 (% b.s.). Após a secagem, foram determinadas as isotermas de dessorção pelo método estático indireto. A atividade de água (Aw) medida por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1 foi determinada sob diferentes temperaturas, sendo que os aquênios foram acondicionados em câmara B.O.D., regulada a 10, 20, 30 e 40 °C. Aos dados de teor de água de equilíbrio higroscópico foram ajustados aos diferentes modelos matemáticos por meio da análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. O modelo de Copace é o que melhor representa a higroscopicidade dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado. O calor isostérico integral de dessorção dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado para a faixa de teor de água de 4,51 a 13,40 (% b.s.), variam de 2734,82 a 2548,49 kJ kg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** cajuzinho-do-cerrado, higroscopicidade, atividade de água

**Abstract:** The objective of this study was to determine the sorption isotherms of cerrado-cashew (*Anacardium humile* St. Hil.) achenes in various conditions of temperature and water activities, as well as select the one that best represent the phenomenon, to determine the isosteric heat of desorption. The seeds were collected in Emas National Park (18 ° 6 '23 "S, 52 ° 55' 40" W) at 820m of altitude, pulped and then subjected to drying in gel silica at a temperature of  $25 \pm 2$  ° C until achieve the water levels of 17.6; 13.6; 11.1; 8.7; 5.3 (b.s.%). After drying, desorption isotherms by the indirect static method were determined, and water activity ( $A_w$ ) measured by the Hygropalm Model Aw1 equipment. Water activity was determined at different temperatures, and the seeds were placed in B.O.D., set at 10, 20, 30 and 40 °C. Data of hygroscopic equilibrium water content were adjusted on different mathematical models by non-linear regression analysis, using the Gauss Newton method. The Copace model is the one that best represents the hygroscopicity of cerrado-cashew achenes. The full isosteric heat of desorption of cerrado-cashew achenes with water content from 4.51 to 13.40 (% b.s.), ranging from 2,734.82 to 2,548.49 kJ kg<sup>-1</sup>.

**Key words:** cerrado-cashew, hygroscopicity, water activity

## 1.1 Introdução

O armazenamento de sementes constitui importante estratégia para a conservação genética *ex situ* de espécies vegetais, atendendo objetivos como a conservação, o melhoramento ou a propagação. As condições de umidade relativa e de temperatura durante o armazenamento, e as sementes alcançarão o equilíbrio higroscópico específico, determinarão a manutenção de sua qualidade fisiológica por maior ou menor tempo (Borges et al., 2009).

A higroscopicidade se refere à afinidade com a água, ou seja, o comportamento hidrófilo de algumas substâncias em relação à água. Deste modo, a composição química das sementes afeta a sua captação ou liberação com a água (Marcos Filho, 2005). As isotermas são obtidas por meio de equações matemáticas que correlacionam o teor de água do produto e a umidade relativa de equilíbrio em função da temperatura específica (Corrêa et al., 2005a).

Para a obtenção das isotermas de sorção é essencial o estudo da atividade de água, sendo que esta descreve a relação entre a quantidade de água sorvida pelo produto, a umidade relativa em uma temperatura (Silva et al., 2007).

A secagem e o armazenamento de produtos agrícolas requerem o estudo do calor isostérico, sendo fundamental para prever a quantidade de energia necessária para o processo de secagem, e ainda, a quantia de calor ideal para remover a água dos produtos (Lima et al., 2008).

Assim, objetivou-se determinar as isotermas de dessorção de aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), para diversas condições de temperatura e atividades de água, e ajustar diferentes modelos matemáticos, utilizando o melhor destes para determinar o calor isostérico de dessorção.

## 1.2 Material e métodos

Os frutos de caju foram coletados no Parque Nacional das Emas (Figura 1 A), localizado no município de Mineiros, Goiás (18° 6' 23" S, 52° 55' 40" W) 820m de altitude. Após a coleta, os frutos foram levados ao Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano IF Goiano - Campus Rio Verde, a exsicata se encontra depositada no herbário da Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí, como registro: HJ7275 / UFG-Jataí.

Os frutos (Figura 1 B) foram despulpados e os aquênios separados com o auxílio de uma linha de náilon. Em seguida, os aquênios foram lavados em solução de hipoclorito de sódio a 2% por 5 min. Após a lavagem dos frutos, determinou-se o teor de água inicial dos aquênios (28% b.u.) (Figura 1 C) e se procedeu a secagem em sílica gel, a temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , até atingirem os teores de água de 13,6; 11,1; 8,7; 5,3 (% b.s.). O teor de água foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , por 24 horas de acordo com a RAS (Brasil, 2009), utilizando quatro subamostras.



FIGURA 1: (A) – plantas de caju-do-cerrado; (B) – fruto de caju-do-cerrado; (C) – aquênios sobre sílica gel para secagem.

As isotermas de desorção foram determinadas pelo método estático indireto. A atividade de água ( $A_w$ ), para cada teor de água, foi determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1 nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, em B.O.D, no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do IF Goiano, Campus Rio Verde.

Aos dados experimentais de teor de água de equilíbrio foram ajustados os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1, que são tradicionalmente utilizados para prever a higroscopicidade de produtos vegetais.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de produtos vegetais

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(1)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(2)
$X_e = (a \cdot b \cdot c \cdot a_w) / [(1 - c \cdot a_w) \cdot (1 - c \cdot a_w + b \cdot c \cdot a_w)]$	GAB	(3)
$X_e = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{1/c}$	Halsey Modificado	(4)
$X_e = a \cdot (a_w^{b/T^c})$	Sabbah	(5)
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(6)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / (a \cdot (T^b))]^{1/c}$	Cavalcanti Mata	(7)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot (T + b))]^{1/c}$	Henderson Modificado	(8)
$X_e = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot T + 273,16)]^{1/c}$	Henderson	(9)
$X_e = \{1 / [(1 - a_w) \cdot (1/a \cdot b + ((a - 1)/a \cdot b))]\}$	BET	(10)
$X_e = (a + b \cdot T) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	Oswin	(11)
$X_e = (a \cdot b \cdot a_w) \cdot \frac{\left(\frac{c}{T}\right)}{\left(1 - b \cdot a_w + \left(\frac{c}{T}\right) \cdot b \cdot a_w\right) \cdot (1 - b \cdot a_w)}$	GAB Modificado	(12)

em que,

Xe: teor de água de equilíbrio, % b.s.;

$a_w$ : atividade de água, decimal;

T: temperatura, °C;

a, b, c: coeficientes que dependem do produto estudado.

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foi considerada a significância dos coeficientes pelo Teste T, adotando o nível de 5% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE), o Teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) ao intervalo de confiança a 95% ( $P < 0,05$ ). Considerou-se o valor do erro médio relativo, quando inferior a 10% como um dos critérios para a seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra e Rao (2005). Os erros médios relativos e estimados e o Teste de Qui-quadrado, para cada um dos modelos, foram calculados conforme as equações 13 a 15, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (15)$$

Em que,

Y : valor experimental;

$\hat{Y}$  : valor estimado pelo modelo;

n : número de observações experimentais;

GLR : graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Os cálculos do calor isostérico líquido de sorção (ou entalpia diferencial), para cada teor de água de equilíbrio, foram obtidos por meio da equação Clausius-Clayperon (Iglesias e Chirife 1976), como demonstrada pela equação 16:

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{RT_a^2} \quad (16)$$

Em que,

$a_w$ : atividade de água, decimal;

$T_a$ : temperatura absoluta, K;

$\Delta h_{st}$ : entalpia diferencial,  $\text{kJ kg}^{-1}$ ;

R: constante universal dos gases,  $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , sendo para o vapor d'água  $0,4619 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Integrando a Equação 16 e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, obteve-se o calor isostérico líquido de sorção, para cada teor de água de equilíbrio, conforme a Equação 17 (Wang e Brennan, 1991):

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{\Delta h_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (17)$$

Em que,

C: coeficiente do modelo.

O calor isostérico integral de dessorção foi obtido adicionando aos valores de calor isostérico líquido de sorção, o valor do calor latente de vaporização da água livre, conforme a Equação 18:

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L = a \cdot \exp(-b \cdot X_e) + c \quad (18)$$

Em que:

$Q_{st}$ : calor isostérico integral de sorção,  $\text{kJ kg}^{-1}$ ;

a, b e c: coeficientes do modelo.

O calor latente de vaporização da água livre (L), em  $\text{kJ kg}^{-1}$ , utilizado no cálculo de  $Q_{st}$ , foi obtido utilizando a temperatura média (T) na faixa em estudo, em  $^{\circ}\text{C}$ , por meio da seguinte equação:

$$L = 2502,2 - 2,39.T \quad (19)$$

Em que:

L: calor latente de vaporização da água livre,  $\text{kJ kg}^{-1}$ .

### 1.3 Resultados e discussão

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios do teor de água de equilíbrio, obtidos em função da temperatura e da atividade de água. Verifica-se que para temperatura constante, o teor de água de equilíbrio acresce com o aumento da atividade de água para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado, o mesmo foi verificado em frutos de crambe por Costa et al, 2013.

TABELA 2. Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da atividade de água (decimal)

Atividade de água (decimal)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	10	20	30	40
0,306	-	-	4,51	-
0,309	-	4,52	-	-
0,335	-	5,26	-	-
0,340	-	-	5,47	-
0,419	-	-	-	5,28
0,470	-	-	-	6,10
0,642	-	-	9,83	-
0,644	9,74	-	-	-
0,653	-	9,63	-	-
0,700	10,79	-	-	-
0,715	-	-	-	9,63
0,736	-	13,40	-	-
0,779	-	-	12,39	-
0,816	-	-	13,37	-

Na Tabela 3. estão apresentados os parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico, bem como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os valores do erro médio



relativo (P), erro médio estimado (SE) e do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado, obtidos por dessorção, em diferentes temperaturas.

TABELA 3. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.) com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ , %), erros médios relativo (P, %) e estimado (SE, decimal), *Qui-quadrado* ( $\chi^2$ , decimal) e coeficientes dos modelos ajustados (a, b e c)

Modelos	$R^2$	P	SE	$\chi^2$	Coeficientes		
	(%)		decimal		a	b	c
Chung-pfost	96,36	5,19	0,684	0,468	30,4676**	5,1415**	105,7053 <sup>ns</sup>
Copace	96,80	4,74	0,642	0,412	0,9930**	0,0044*	2,1307**
GAB	94,99	5,78	0,803	0,644	6,5008*	4,0711 <sup>ns</sup>	0,7270**
Halsey Modificado	96,00	5,52	0,717	0,514	3,0595**	0,0100*	1,6415**
Sabbah	94,53	7,67	0,839	0,703	19,1489**	1,1461**	0,0490 <sup>ns</sup>
Sigma Copace	96,72	5,01	0,649	0,422	0,1044 <sup>ns</sup>	0,0052*	1,1840**
Cavalcanti Mata	95,96	5,53	0,721	0,520	-0,0336*	0,1016 <sup>ns</sup>	1,3750**
Henderson Modificado	96,52	5,19	0,669	0,447	0,0003 <sup>ns</sup>	146,2516 <sup>ns</sup>	1,3770**
Henderson	96,24	5,29	0,666	0,444	0,00016**	1,3698**	-
BET	84,35	10,70	1,358	1,845	136,7409**	0,3329**	-
Oswin	96,69	4,74	0,652	0,426	8,0407**	-0,0396*	-2,1083**
GAB modificado	96,33	5,07	0,687	0,472	5,1618**	0,8023**	176,5983**

\*\* Significativo a 1 %; \* Significativo a 5 % e <sup>ns</sup>Não Significativo pelo teste de t.

O coeficiente de determinação para os modelos de Chung-pfost, Copace, Halsey Modificado, Sigma Copace, Cavalcanti Mata, Henderson Modificado, Henderson, Oswin e GAB Modificado apresentaram valores superiores a 95% (Tabela 3), valores que são adequados para a aceitável representação do fenômeno em estudo (Madamba et al., 1996).

Para os valores de erro médio relativo, observa-se que o modelo de Copace foi que apresentou menor valor (4,74), sendo que o maior valor foi verificado para o modelo de BET de 10,70, demais modelos proporcionaram magnitudes admissíveis para seleção (Tabela 3). Mohapatra e Rao (2005) destacam que os valores inferiores a 10 % são recomendados para a escolha.

O modelo de Copace foi o que propiciou melhor resultado para o erro médio estimado e para o teste de qui-quadrado (Tabela 3), sendo o menor dentre os modelos testados, e corrobora com os resultados de Günhan et al. (2005), que quanto menor o valor do qui-quadrado, melhor é o ajuste do modelo.

Observa-se que os modelos de Copace, Halsey Modificado, Oswin e GAB Modificado apresentaram coeficientes significativos a 1% e 5% pelo teste de t (Tabela 3). Com isso, verifica-se que o modelo de Copace foi o que proporcionou os melhores valores para o ajuste aos dados experimentais, evidenciando os menores valores para os erros médios relativos e estimados e qui-quadrado, e o maior valor para o coeficiente de determinação, sendo assim selecionado para representar a higroscopicidade dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado.

Todos os modelos testados demonstraram satisfatórios para espécie utilizada, exceto o de BET. O modelo de Oswin pode ser utilizado para a obtenção do equilíbrio higroscópico das sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speng (angico) (Borges et al., 2009). Os modelos de Henderson Modificado e Chung-Pfost são os que melhores representam a higroscopicidade das sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch) com e sem línter (Oliveira et al., 2013). Caetano et al. (2012), trabalhando com *Anacardium othonianum* verificaram que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Chung-Pfost, modelo que também se ajustou aos dados do cajuzinho-do-cerrado.

Na Figura 2, são apresentados os valores dos teores de água de equilíbrio dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado, obtidos por dessorção, bem como suas isotermas estimadas por meio do modelo de Copace.

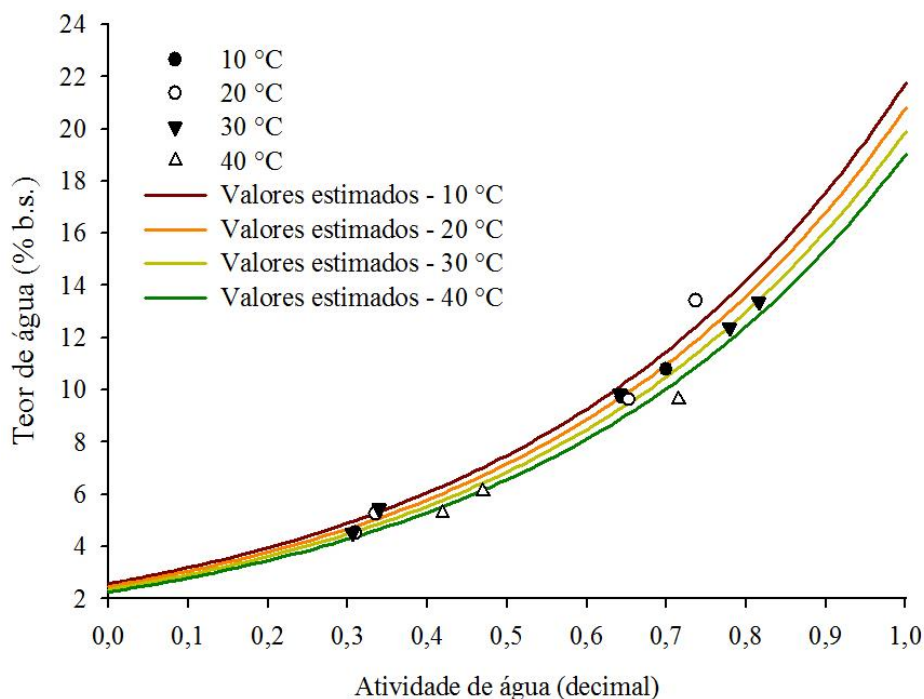


FIGURA 2. Isotermas de dessecção de água para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), estimadas pelo modelo de Copace, para diferentes condições de temperatura e atividades de água.

Com a elevação do teor de água, verifica-se o aumento da atividade de água, a temperatura constante, sendo que as curvas das isotermas de dessecção tiveram comportamento Tipo III comportamento que se apresenta exponencial. Verifica-se ainda que o modelo possui limitação para prever os teores de água quando a umidade relativa se aproxima a zero conforme relatado por Botelho (2012).

Assim como para o cajuzinho-do-cerrado (Figura 2), e também em *Raphanus sativus* L. (nabo forrageiro), testado por Sousa et al. (2013), e em frutos de *Crambe abyssinica* (crambe) analisados por Costa et al. (2013), o modelo de Copace foi o mais adequado para a representação do processo de dessecção destas espécies. Deste modo, o comportamento demonstra que a constituição do produto (solutos) em grande parte exibe pouca afinidade com as moléculas de água, e, é justificável por ser o produto composto preferencialmente de lipídios e carboidratos (Pena et al., 2010).

Na Figura 3, são apresentados os valores do calor isostérico integral de dessecção ( $Q_{st}$ ), em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.).

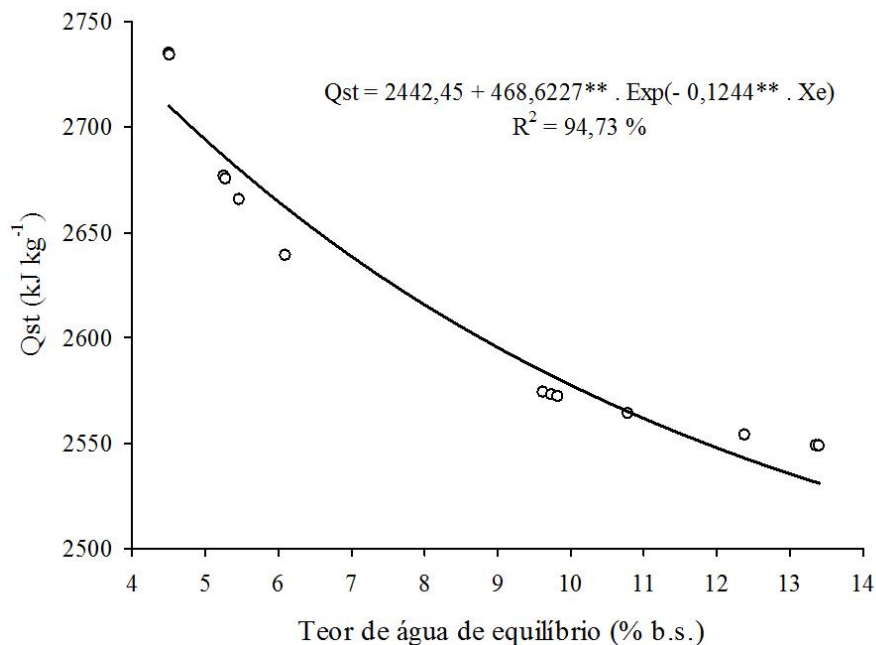


FIGURA 3. Calor isostérico integral de desorção para os aquênios de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.) em função do teor de água de equilíbrio.

O calor isostérico de desorção de aquênios de cajuzinho-do-cerrado reduziu com o acréscimo do teor de água (4,51 a 13,40 % b.s.), demonstrando que há aumento da energia necessária para remoção da água dos aquênios, que tiveram magnitudes do calor isostérico variando de 2734,82 a 2548,49 kJ kg<sup>-1</sup>. Estes valores corroboram com os encontrados Corrêa et al. (2005b) para os grãos de trigo com teor de água de 12 a 19% b.s., variam de 3735 a 2683kJ. Kg<sup>-1</sup>, o mesmo pode ser observado com feijão caupi com teor de água 4 a 16%, apresentaram valores variando de 3361 a 2472 aproximadamente (Ayranci e Duman, 2005). Wang e Brennan (1991) explicam que produtos com menor teor de água, as forças de ligação da superfície da substância adsorvente entre água são maiores.

A quantidade de calor isostérico aumenta com a redução do teor de água dos aquênios, resultados semelhantes foram encontrados por Leite et al. (2004) trabalhando com polpa de banana e também por Lima et al. (2008) avaliando farinha de coroa-de-frade.

## 1.4 Conclusão

- O teor de água de equilíbrio de aquênios de cajuzinho-do-cerrado, em temperatura constante, cresce em função do aumento da atividade de água.
- Todos os modelos testados foram adequados para a espécie, exceto o de BET, já o de Copace foi escolhido para representar o processo de dessorção dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado.
- O calor isostérico integral de dessorção, para aquênios de cajuzinho-do-cerrado aumenta com a redução do teor de água.

## 1.5 Referências bibliográficas

AYRANCI, E.; DUMAN, O. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30°C. **Journal of Food Engineering**, v.70, p.83-91, 2005.

BORGES, S.; BORGES, E.E.L.; CORREA, P.C.; BRUNE, A. Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. **Scientia Florestalis**, v.37, n.84, p.475-481, 2009.

BOTELHO, F.M. **Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização do processo de torrefação dos grãos de *Coffea canephora***. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CAETANO, G.S.; SOUSA, K.A.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; COSTA, L.M. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.4, p.437-445, 2012.

CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.1, p.126-134, 2005a.

CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.1, p.39-48, 2005b.

- COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C. Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.412–418, 2013.
- GÜNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v.46, n.11-12, p.1667-1679, 2005.
- IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Isothermic heats of water vapour sorption on dehydrated foods. Part II: hysteresis and heat of sorption comparison with BET theory. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, v.9, n. 1 , p.123–127, 1976.
- LEITE, J.C.A.; SILVA, M.M.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F.A.C.; PEDROZA, T.P. Calor isostérico da polpa de banana variedades maçã e nanica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, n.2, p.171-178, 2004.
- LIMA, E.E.; SILVA, A.S.; FIGUEIREDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Estudo das isotermas e calor isostérico de adsorção da farinha da coroa de frade. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.2, p.163-170, 2008.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKELE, K.A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n. 1, p.75-97, 1996.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. FEALQ. Piracicaba, 495p, 2005.
- MOHAPATRA, D.; RAO,P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T.A.S.; CAMPOS, R.C. Isotermas e calor isostérico das sementes de algodão com línter e sem línter. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.15, n.3, p.283-292, 2013.
- PENA, R.S.; MENDONÇA, N.B.; ALMEIDA, M.D.C. Comportamento higroscópico do açaí em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, p.153-161, 2010.
- SILVA, F.; PARK, K.J.; MAGALHÃES, P.M. Isotermas de dessorção de *Calendula officinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. **Revista Brasileira Plantas Mediciniais**, v.9, n.1, p.21-28, 2007.
- SOUSA, K.A.; RESENDE, O.; COSTA, L.M. Isotermas de dessorção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 2, p.216-222, 2013.

WANG, N.; BRENNAN, J.G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.14, n. 4 , p.269-287, 1991.

## CAPÍTULO II

### Qualidade fisiológica de aquênios de *Anacardium humile* St. Hil., criopreservados com diferentes teores de água

Resumo: Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* st. Hil.), criopreservados com diferentes teores de água. Os frutos foram coletados no Parque Nacional das Emas (18° 6' 23" S, 52° 55' 40" W) 820m altitude, município de Mineiros – GO, despulpados e em seguida os aquênios submetidos a secagem em sílica gel a temperatura de  $25 \pm 2$  °C, até atingirem os teores de água de 14, 12, 8 e 5% b.u.. Após a secagem, os aquênios foram armazenados em nitrogênio líquido a -196 °C por 10 dias e, posteriormente, submetidos a três métodos de descongelamento: lento/gradual, rápido e em micro-ondas. Foram avaliadas a germinação, o índice de velocidade de germinação, a condutividade elétrica e o comprimento das plântulas normais. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 4x3 (teores de água x métodos de descongelamento). A germinação de sementes de cajuzinho-do-cerrado foi superior quando as sementes foram armazenadas com teores de água de 12 e 14% b.u., mas o armazenamento criogênico pode ser realizado com até 8% b.u., sem causar prejuízos ao desempenho das plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado.

**Palavras-chave:** cajuzinho-do-cerrado, germinação, armazenamento

Abstract: The objective of this study was to evaluate the physiological quality of cerrado-cashew achenes (*Anacardium humile* St. Hil.), cryopreserved with different



water contents. The seeds were collected in Emas National Park (18 ° 6 '23 "S, 52 ° 55' 40" W) at 820m of altitude, pulped and then subjected to drying in gel silica at a temperature of  $25 \pm 2$  °C until achieve the water levels of 14, 12, 8 and 5% b.u. After drying, the seeds were stored in liquid nitrogen at -196 °C for 10 days and, then, subjected to three thawing methods: slow/progressive, fast and microwave. Germination, germination rate index, electrical conductivity and the length of normal seedlings were evaluated. A completely randomized design with four replications in a factorial 4x3 (water contents x thawing methods) was used. The germination of cerrado-cashew achenes was higher when seeds were stored with water contents of 12 and 14% b.u., but cryogenic storage can be performed with up to 8% b.u., without causing damage to the performance of normal seedlings of cerrado-cashew.

**Key words:** cerrado-cashew, germination, storage

## 2.1 Introdução

As espécies florestais brasileiras apresentam longevidade de sementes variável (Wetzel et al., 2003), sendo que para algumas espécies nativas a longevidade é curta, o que reduz seu aproveitamento e diminui a viabilidade (Martins e Pinto, 2014).

A criopreservação é uma técnica que utiliza temperaturas extremamente baixas, a fim de reduzir ou inibir completamente o metabolismo celular (Batista, 2000), sendo muito utilizada para conservação de material genético (Henshaw et al., 1980), que permite a manutenção da diversidade genética (Marcos Filho, 2005). A redução do metabolismo e das atividades bioquímicas da semente resulta na paralisação da deterioração biológica (Kantha, 1985). Com isso, o material biológico pode ser preservado por período de tempo indeterminado (Harding, 2004; Benson, 2008).

Diversos autores têm descrito que o teor de água das sementes interfere no processo de criopreservação (Coelho e Cavalcanti Mata, 2005). De acordo com Cunha (1996) o teor de água da semente é, provavelmente, o fator mais crítico para o sucesso da criopreservação, pois se for elevado pode ocasionar à morte da semente. Mas isto pode ser evitado se a técnica for utilizada de maneira adequada (Cavalcanti Mata, 2008).

Diante disso, objetivou-se com o desenvolvimento do trabalho avaliar a qualidade fisiológica de sementes de caju-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), criopreservados com diferentes teores de água.

## 2.2 Material e métodos

Os frutos de cajuzinho-do-cerrado (Figura 1 A) foram coletados no Parque Nacional das Emas, localizado no município de Mineiros, Goiás (18° 6' 23" S, 52° 55' 40" W) 820m de altitude. Após a coleta, os frutos foram levados para o processamento ao Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano IF Goiano - Campus Rio Verde a exsicata se encontra depositada no herbário da Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí, como registro: HJ7275 / UFG-Jataí.

Os frutos foram despulpados e os aquênios separados com o auxílio de uma linha de náilon (Figura 1 B). Os aquênios foram lavados em solução de hipoclorito de sódio a 2% por 5 min. Após a lavagem, determinou-se o teor de água inicial dos aquênios (28% b.u.) e se procedeu a secagem em sílica gel (Figura 1 C), a temperatura de  $25\pm 2^\circ\text{C}$ , até atingirem os teores de água de 14, 12, 8 e 5% b.u. O teor de água foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , por 24 horas, de acordo com a RAS, (Brasil, 2009), em quatro subamostras de 7 gramas.

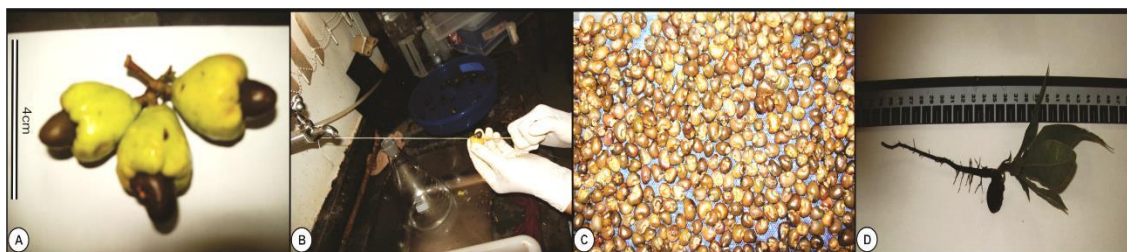


FIGURA 1: (A) – fruto de caju-do-cerrado; (B) – despolpa e separação dos aquênios/ uso de linha náilon; (C) – aquênios sobre sílica gel para secagem; (D) Comprimento de plântula.

Para a criopreservação, os aquênios foram embalados em papel alumínio e acondicionados em tubos cilíndricos de alumínio (canister). Posteriormente, os tubos foram colocados em botijões criogênicos, isolados com vácuo parcial, a  $-196^\circ\text{C}$  por 10 dias. Após este período, os aquênios, foram submetidos a diferentes métodos de descongelamento: lento e gradual, segundo as etapas, em sequência: freezer  $-80^\circ\text{C}$ , freezer  $-26\pm 2^\circ\text{C}$ , B.O.D.  $10^\circ\text{C}$  e temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ , durante 1 hora em cada uma das etapas; descongelamento rápido, em banho-maria, a temperatura de  $60^\circ\text{C}$  durante oito minutos; e descongelamento em micro-ondas, a potência de 15000 w

durante três minutos. Após o descongelamento, os aquênios foram lavados em água destilada e submetidos a testes para a avaliação da qualidade fisiológica.

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio das características de germinação (percentual) e vigor (índice de velocidade de germinação, condutividade elétrica e comprimento da raiz e parte aérea).

O percentual de germinação foi obtido pelo teste de germinação, e foram utilizadas quatro repetições de 25 aquênios. A semeadura foi efetuada entre três folhas de papel germitest, umedecidos com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Logo após os aquênios foram transferidos para germinador, tipo Mangelsdorf, e mantidos a 30 °C, durante 32 dias, quando se efetuou a contagem final.

O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) foi determinado por meio de contagens diárias, a partir do 8º dia de semeadura, computando o número de sementes germinadas. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentavam radícula maior ou igual a 1 cm de comprimento. Para o cálculo do IVG utilizou a equação de Maguire (1962).

Para a determinação do comprimento de raiz e parte aérea (Figura 1 D) as sementes foram semeadas entre areia, a 2 cm de profundidade, em casa de vegetação sem controle de temperatura em quatro repetições de 25 sementes. Após a emergência total das plântulas (50 dias), foi realizada a medição de 10 plântulas normais, em cada repetição, com auxílio de régua milimétrica.

O teste de condutividade elétrica foi realizado em copo descartável com 75 mL de água deionizada, à temperatura de 25 °C em B.O.D., efetuando a leitura após 24 horas de embebição (Vieira e Krzyzanowski, 1999), com quatro repetições de 10 aquênios, sendo estes pesados.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4x3 (teores de água x métodos de descongelamento), com quatro repetições. Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância e ao Teste de F. A comparação de médias foi realizada pelo Teste de Tukey, a 5% de significância, utilizando o programa Sisvar (Ferreira, 2011).

### 2.3 Resultados e discussão

Após a realização da análise dos resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que o percentual de germinação das sementes reduziu em sementes criopreservadas com menor teor de água. Houve redução média de, aproximadamente, 50 pontos percentuais (pp) entre os aquênios com 14% e 5% b.u. de água, independentemente do método de descongelamento (Tabela 1). Para Almeida et al. (2007) o teor de água limite para a criopreservação de sementes de *Anethum graveolens* (endro) está entre 9 e 11% b.u.. Já para sementes de *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão) a criopreservação pode ser realizada com teores de água entre 6 e 9% b.u. (Porto et al., 2014).

TABELA 1. Germinação de sementes de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água

Teor de água (%)	Método de descongelamento			Média
	Micro-ondas	Rápido	Lento	
14	88a*	82a	80a	83a
12	70ab	80a	69ab	74ab
8	55bc	59b	60b	58b
5	37c	21c	30c	29c
Média	63	61	60	61

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula em coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O percentual médio de germinação dos aquênios foi de 61%, resultado que corrobora o descrito por Silva et al. (2001), em que o percentual de germinação de cajuzinho-do-cerrado atingiu cerca de 65%. Verificou-se ainda, que o percentual médio de germinação foi maior para os aquênios com teor de água maior ou igual a 12%(b.u.), demonstrando maior viabilidade destes em relação aos aquênios com teores menores.

De forma contrária, Castro et al. (2001) estudando o teor de água limite para crioconservação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.), observaram que entre os teores de 6 a 12% b.u. não há alteração na germinação. Neste mesmo sentido, sementes

de *Astronium urundeuva* (aroeira) não perdem sua viabilidade, quando criopreservadas com teor de água de 6% b.u. (Medeiros et al., 1992). Do mesmo modo, sementes de *Jatropha curcas* L. (pinhão manso) mantiveram seus índices de vigor quando armazenadas em nitrogênio líquido ou em vapor (Goldfarb et al., 2010) e mantêm viabilidade elevada quando criopreservadas com 8% b.u. de teor de água (Silva, et al., 2011). Sementes de *Tabebuia chrysotrica* (ipê-amarelo) apresentaram maior germinação quando criopreservadas com teor de água de 4% b.u. (Tresena et al., 2010). Resultados semelhantes foram observados para sementes de *Pinus elliotti* (pinheiro) (Fonseca et al., 2012).

Independentemente do método de descongelamento (Tabela 2), o vigor (IVG) foi afetado apenas quando as sementes foram criopreservadas com 5% (b.u.) de teor de água, demonstrando que esta característica foi menos afetada pelo teor de água que o percentual de germinação. O descongelamento em micro-ondas é mais adequado para sementes crioconservadas de *Allium cepa* (cebola), do que em temperatura ambiente e banho-maria (Molina, et al. 2006), sendo que para o cajuzinho-do-cerrado não ocorreu alteração do vigor, independentemente do método de descongelamento, uma vez que o micro-ondas pode ser escolhido em função da praticidade.

TABELA 2. Índice de velocidade de germinação de sementes de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água

Teor de água (%)	Método de descongelamento			Média
	Micro-ondas	Rápido	Lento	
14	1a*	1a	1a	1a
12	1a	1,25a	1a	1,08a
8	1a	1a	1a	1a
5	0,25b	0,25b	0,5b	0,33b
Média	0,812	0,875	0,875	0,85

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula em coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O comprimento da raiz das plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado foi menor nos aquênios com 5% b.u. de teor de água, independentemente do método de descongelamento (Tabela 3). Por outro lado, isto não se observa em outras espécies oleaginosas, pois para sementes de algodão (*Gossypium hirsutum*), teores de água entre 4 a 10% (b.u) são mais apropriados para a criopreservação (Rocha et al., 2009). Fato também constatado para sementes de gergelim (*Sesamum indicum*) (Batista, 2000) e sementes de mamona (*Ricinus communis*) (Almeida et al., 2002) criopreservadas com teor de água de 6 e 8% b.u..

TABELA 3. Comprimento de raiz de plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água

Teor de água (%)	Método de descongelamento			Média
	Micro-ondas	Rápido	Lento	
14	9,97a*	11,01a	10,08a	10,35a
12	10,26a	10,55a	10,38a	10,40a
8	11,08a	10,56a	9,80a	10,48a
5	4,41b	3,53b	5,51b	4,48b
Média	8,93	8,91	8,94	8,93

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula em coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De forma similar ao comprimento de raiz, o comprimento de parte aérea das plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado foi menor nos aquênios como teor de água de 5% b.u., independentemente do método de descongelamento (Tabela 4). Isto denota que o vigor dos aquênios criopreservados com até 8% b.u. de teor de água não é afetado. Sementes de algodão com teores de água acima de 10% b.u. e armazenadas em nitrogênio líquido (-196 °C) apresentam redução da viabilidade, indicando que, para determinados tipos de semente, existe um teor de água ideal para a criopreservação (Rocha et al., 2009).

Entretanto, percebe-se que tanto o comprimento de raiz e de parte área de plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado (Tabelas 3 e 4) tiveram redução média de, aproximadamente, 5 cm entre os aquênios com teores de água de 5 e 8% b.u., evidenciando que esta redução no teor de água prejudica o crescimento das plântulas. De forma contrária ao constatado por Rocha et al. (2009), não houve relação direta entre a germinação e o vigor, expresso pelo crescimento de plântulas, entre os aquênios de cajuzinho-do-cerrado nos teores de água 5 e 8% b.u., evidenciando que o processo biológico de germinação é mais afetado que o crescimento das plântulas normais de cajuzinho-do-cerrado.

TABELA 4. Comprimento da parte área de plântulas de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água

Teor de água (%)	Método de descongelamento			Média
	Micro-ondas	Rápido	Lento	
14	11,05a*	13,97a	10,51a	11,84a
12	9,56a	10,61a	10,45a	10,20a
8	10,47a	10,90a	9,90a	10,42a
5	4,06b	3,03b	4,96b	4,02b
Média	8,785	9,6275	8,955	9,13

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula em coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A condutividade elétrica foi maior para o método de descongelamento lento (Tabela 5). Isto demonstra que nos métodos mais rápidos de descongelamento, pode haver menor lixiviação de solutos, preservando melhor a integridade das membranas, demonstrando que os aquênios que passaram pelo método de descongelamento lento apresentou menor vigor, pois liberam maiores quantidades de solutos.

De forma contrária as demais características avaliadas, não houve diferença de condutividade elétrica entre os aquênios com diferentes teores de água (Tabela 5).

Entretanto, isto pode ser pela desuniformidade do teor de água entre os aquênios, haja vista o preconizado por Loeffler et al. (1988) e Araujo et al. (2011).

TABELA 5. Condutividade elétrica de cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium humile* St. Hil.), sob diferentes métodos de descongelamento e teores de água

Teor de água (%)	Método de descongelamento			Média
	Micro-ondas	Rápido	Lento	
14	17,40a	14,96a	21,40a	17,92a
12	20,35a	16,37a	20,9a	19,21a
8	18,39a	19,96a	22,89a	20,41a
5	22,03a	20,58a	22,35a	21,65a
Média	19,54AB	17,97B	21,89A	19,80

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula em coluna e maiúscula em linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

## 2.4 Conclusão

- A germinação de sementes de cajuzinho-do-cerrado é maior quando estes são criopreservados com teor de água de 14 e 12% b.u..
- Os métodos de descongelamento não interferem na qualidade fisiológica de aquênios de cajuzinho-do-cerrado criopreservados, podendo-se optar pelo mais prático (micro-ondas).
- A criopreservação de aquênios de cajuzinho-do-cerrado com teor de água de 5% b.u. reduziu o vigor das plântulas normais.

## 2.5 Referências bibliográficas

ALMEIDA, F.A.C.; MORAIS, A.M.; CARVALHO, J.M.F.C.; GOUVEIA, J.P.C. Crioconservação de sementes de mamona das variedades nordestina e pernambucana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.295-302, 2002

ALMEIDA, F.A.C.; ALVES, N.M.C.; GOMES, J.P.; SILVA, D.R.S. Determinação do teor de umidade limite de sementes de endro (*Anethum graveolens*) para



- crioconservação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.2, p.153-159, 2007.
- ARAÚJO, R.F.; ZONTA, J.B.; ARAÚJO, E.F.; DONZELES, S.M.L.; COSTA, G.M. Teste de condutividade elétrica para sementes de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). **IDESIA**, v. 29, n. 2, p. 79-86, 2011.
- BATISTA, R.C. **Cultivo *in vitro* e criopreservação de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.)**. 2000. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB.
- BENSON, E.E. Cryopreservation of phytodiversity: a critical appraisal of theory and practice. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.27, n.3, p.141-219, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.
- CAVALCANTI MATA, M.E. R.M. Tecnologia de crioconservação de sementes de urucum. **Tecnologia e Ciências Agropecuária**, v.2, n.1, p.1-9, 2008.
- CASTRO, A.A.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M.E.D. Teor de umidade limite para crio-conservação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, v.5, n.1, p.17-22, 2001.
- COELHO, R.R.P.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. Teor de umidade limite para criopreservação de sementes de algodão colorido. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 5, 2005. **Anais...** Salvador: EMBRAPA, 2005. CDRom.
- CUNHA, R. da. Métodos alternativos para conservação de germoplasma-semente. In: Puignau, J.P. (Ed.) Conservación de germoplasma vegetal. Montevideo: **IICA**, 1996. p.123-128. (Dialogo, 45).
- FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar** – análises estatísticas. Lavras: Editora UFLA- Departamento de Ciências Exatas, 2000. 66 p.
- FONCES, A.G.; MATUDA, J.J.; ALMEIDA, J.O.; NUNES, U.R.; MACHADO, E.L.M. Qualidade fisiológica de sementes de *Pinus elliotti* Engelm. submetidas a diferentes métodos de armazenamento. **Cerne**, v.18, n.3, p.457-463, 2012.
- GOLDFARB, M.; DUARTE, M.E.M.; MATA, M.E.R.M.C. Armazenamento criogênico de sementes de pinhão mansô (*Jatropha curcas* L.) Euphorbiaceae. **Biotemas**, v.23, n.1, p.27-33, 2010.
- HARDING, K. Genetic integrity of cryopreserved cells: a review. **Cryo Letters**, v.25, n.1, p.3-22, 2004.

- HENSHAW, G.G.; STAMP, J.A.; WESTCOTT, J.J. Tissue cultures and germplasm storage. In: Sala, F.; Parisi, B.; Cella, R.; Ciferri, O. (eds.), **Plant Cell Cultures: results and perspectives**. Amsterdam: Elsevier. p.277-282, 1980.
- KARTHA, K.K. Meristem culture and germplasm preservation. In: Kartha, K.K. (ed.). **Cryopreservation of plant cells and organs**. Boca Raton: CRS Press., p.115-13, 1985.
- LOEFFLER, T.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal Seed Technology**, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1998.
- MARTINS, C.C.; PINTO, M.A.D.S.C. Armazenamento de sementes de ipê-amarelo-do-brejo (*Handroanthus umbellatus* (Sond.) Mattos. Bignoniaceae). **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, jul.-set., 2014
- MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-7, 1962.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. FEALQ. Piracicaba, 495p, 2005.
- MEDEIROS, A.C.S.; CAVALLARI, D.A.A. Conservação de germoplasma de aroeira (*Astronium Urundeuva* (fr. all.) Engl. i. germinação de sementes após imersão em nitrogênio líquido (-196°C). **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.1, p.73-75, 1992.
- MOLINA, T.F.; TIELMANN, M.A.A.; DOGE, L.B.; VIÉGAS, J. Crioconservação em sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n.3, p. 72-81, 2006.
- PORTO, J.M.P.; PAIVA, R.; CAMPOS, N.A.; REIAS, M.V.; SOUZA, A.C.; SANTOS, P.A.A.; BRAGA, F.T. Cryopreservation of seeds of barbatimão with different water contents. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, p. 250-256, 2014.
- ROCHA, M.S.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; CARVALHO, J. M. F. C.; LOPES, K.P. Crioconservação de sementes de algodão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, n.3, p.312-318, 2009.
- SILVA, D.B.; SILVA, J.A.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ANDRADE, L.R.M. **Frutas do Cerrado**. Embrapa, Brasília, 178 p, 2001.
- SILVA, R.C.; CAMILLO, J.; LUIS, Z.G.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J.E. Potencial germinativo e morfoanatomia foliar de plântulas de pinhão-manso originadas de germoplasma criopreservado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.8, p.836-844, 2011.

TRESENA, N.L.; MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M. E. M.; MORAES, A.M. Determinação do teor de água limite para criopreservação da sementes de ipê amarelo (*Tabebuia Chrysotrica* (Mart. ex. dc.) Standl.). **Cerne**, v.16, n.2, p.171-175, 2010.

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

WETZEL, M.M.V.S. et al. **Metodologia para criopreservação de sementes de espécies forestais nativas**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003, 5 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Circular Técnica, 26).

## CONCLUSÃO GERAL

- O teor de água de equilíbrio de aquênios de cajuzinho-do-cerrado, em temperatura constante, acresce em função do aumento da atividade de água.
- Todos os modelos testados foram adequados para a espécie, exceto o de BET, já o de Copace foi escolhido para representar o processo de dessorção dos aquênios de cajuzinho-do-cerrado.
- O calor isostérico integral de dessorção, para aquênios de cajuzinho-do-cerrado aumenta com a redução do teor de água.
- A germinação de sementes de cajuzinho-do-cerrado é maior quando estes são criopreservados com teor de água de 14 e 12% b.u..
- Os métodos de descongelamento não interferem na qualidade fisiológica de aquênios de cajuzinho-do-cerrado criopreservados, podendo-se optar pelo mais prático (micro-ondas).
- A criopreservação de aquênios de cajuzinho-do-cerrado com teor de água de 5% b.u. reduziu o vigor das plântulas normais.