

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

CARACTERIZAÇÃO HIGROSCÓPICA, ANATÔMICA,
FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE SEMENTES DE *Sterculia*
striata A. St. Hil et Naudin

Autora: Melícia Ingredi Araújo Gavazza

Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

Coorientador: Osvaldo Resende

Rio Verde - GO

Fevereiro de 2018

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

CARACTERIZAÇÃO HIGROSCÓPICA, ANATÔMICA,
FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE SEMENTES DE *Sterculia*
striata A. St. Hil et Naudin

Autora: Melícia Ingredi Araújo Gavazza

Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

Coorientador: Osvaldo Resende

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Agrárias do
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia Goiano – Campus Rio
Verde – como parte das exigências para
obtenção do título de DOUTORA EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA, Área de concentração
Ciências Agrárias.

Rio Verde - GO

Fevereiro de 2018

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

G281c GAVAZZA, MELICIA INGREDI ARAUJO
CARACTERIZAÇÃO HIGROSCÓPICA, ANATÔMICA, FISIOLÓGICA
E BIOQUÍMICA DE SEMENTES DE *Sterculia striata* A. St.
Hil et Naudin / MELICIA INGREDI ARAUJO
GAVAZZA, orientadora JULIANA DE FÁTIMA SALES; co-
orientador OSVALDO RESENDE. -- Rio Verde, 2018.
86 p.

Tese (Doutorado em PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS/AGRONOMIA) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Rio Verde, 2018.

1. Germinação. 2. Enzimas. 3. atividade de água.
I. SALES, JULIANA DE FÁTIMA, orient. II. RESENDE,
OSVALDO, co-orient. III. Título.

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

CARACTERIZAÇÃO HIGROSCÓPICA, ANATÔMICA,
FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE SEMENTES DE *Sterculia*
striata A. St. Hil et Naudin

Autora: Melícia Ingredi Araújo Gavazza

Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

Coorientador: Dr. Osvaldo Resende

TITULAÇÃO _____, APROVADA em ____ de _____ de 2018.

Prof. Dr. Jacson
Zuchi
Avaliador interno
IFGoiano – Polo de
Inovação

Prof. Dr. Gessimar
Nunes Camelo
Avaliador externo
IFMT– Campo Novo
Parecis

Prof. Dr. Osvaldo Resende
Avaliador interno
IFGoiano – Campus Rio
Verde

Dra. Kelly Juliane
Telles Nascimento
Avaliador interno
IFGoiano –
Campus Rio Verde

Profa. Dra. Juliana de
Fátima Sales
IFGoiano - Campus Rio
Verde
(Orientadora)

Por todo o amor e pelas “balinhas de sabedoria e justiça” que continuam a me ensinar e inspirar e por toda alegria de viver e saudade que sinto da nossa particular forma de nos entendermos, desentendendo-nos, respectivamente, a meus avôs Antônio de Oliveira Araújo e Manuel Francisco de Souza Gavazza, mui respeitosamente dedico.

Ao profissional e colega Glauter Oliveira (*in memoriam*), por todo apoio no início dessa jornada, saudosa e triste, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelas muitas oportunidades de crescimento e aprendizagem. Obrigada, Pai, por nunca me abandonar. “Tu és meu refúgio e a minha fortaleza!”

À minha querida mãe, por todo amor e incentivo durante todos esses anos e que por tantas vezes se sacrificou por mim. Te amo!

A meu irmão, pelo carinho e apoio com os quais sei que sempre poderei contar...meu Parmalat.

A meu príncipe Heitor, que, mesmo sem entender e/ou perceber, foi a luz e o incentivo para que eu continuasse de pé e a lutar. Por tantas vezes, com seu sorriso e afagos tão doces, tirou-me em instantes da mais profunda dor. Tu és luz para meu caminhar, meu filho!

À minha orientadora, Dra. Juliana de Fátima Sales, que, nesse percurso tão cheio de imprevistos e dificuldades, me recebeu com um sorriso e me acolheu como filha, mesmo nem tendo idade para tal. Obrigada, sinceramente por tanta generosidade!

À Cooperativa de Itapuranga, ao senhor Aparício e ao senhor Tão, que, generosamente, nos receberam e colaboraram para a conclusão dessa pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, pela infraestrutura disponibilizada. Aos professores do Programa por tantos ensinamentos e aos servidores Vanilda e Iran. À amiga e colega de aula Elisvane de Assis, por tantos incentivos e apoio.

A toda a equipe do Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, em especial, aos **amigos** Gabrielle Vitorino, Gessimar Nunes, Jacson Zuchi, José Maria Neves, Moara Marielly, Anailda

Angélica, Kelly Teles, Lília Cristina, Lílian Abadia, Glicélia Pereira e Cleverson Fagundes. Sim, nessa casa fui agraciada com muitos amigos!

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Professor João, Professora Heloísa, Dalva e a toda equipe do laboratório oficial de sementes que me acolheu e treinou.

À família Sales, em especial Luzia Sales, que me recebeu em seu lar e, com muito carinho, auxiliou-me e ensinou lições que levarei por toda vida.

À banca de defesa, que despendeu seu tempo para colaborar para a melhoria desse trabalho, sinceramente agradeço.

À minha “fro” Valéria Lopes, por toda “irmandade” desde que nos conhecemos.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução dessa tese e para aqueles que, mesmo por meio de turbulências, proporcionaram que eu enxergasse a força que ainda desconhecia, meu muito obrigada!

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine.

É ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e **não tivesse amor, nada seria.”**

Coríntios 13, 1-2

BIBLIOGRAFIA DO AUTOR

Melícia Ingredi Araújo Gavazza, filha de Julio Cezar Tito Gavazza (*in memoriam*) e Jurema Magalhães Araújo Gavazza, nasceu na cidade de Salvador, Bahia, aos dezessete dias de janeiro de 1983.

No ano de 2007, colou grau como Engenheira Agrônoma na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. E em 2008, já na cidade de Curitiba, iniciou novo ciclo de estudos na Universidade Federal do Paraná, onde recebeu o grau de Mestre em Agronomia em 2010.

Atuou como docente na Rede Estadual de Ensino Tecnológico e Superior no Estado da Bahia nos cursos de Agropecuária, Meio Ambiente e Administração durante os anos de 2010 e 2014.

Ainda nesse período, atuou como Coordenadora da Vigilância Sanitária no município de São Félix do Coribe - Bahia e como Engenheira de Segurança do Trabalho por diversas cidades do oeste baiano.

Em 2012, deu à luz a seu filho e motivação, Heitor Gavazza Nery.

Em 2014, ingressou no curso de doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, submetendo-se à defesa da tese, requisito indispensável para a obtenção do título de Doutora em Ciências Agrárias-Agronomia, em fevereiro de 2018.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Chichá e suas potencialidades.....	1
1.2 Caracterização anatômica e histoquímica.....	4
1.3 Armazenamento de sementes.....	5
1.3.1 Armazenamento e atividade de água em sementes.....	6
1.3.2 Estresse oxidativo e enzimas removedoras de radicais livres.....	7
2. Referências Bibliográficas.....	7
3. Objetivo Geral.....	12
CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA DE ÓRGÃOS VEGETATIVOS DE <i>Sterculia striata</i> A. St-Hil et Naudin.....	13
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
RESULTADOS.....	17
DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO II: HIGROSCOPICIDADE DE SEMENTES DE <i>Sterculia striata</i> A. St-Hil et Naudin.....	30
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

CAPÍTULO III: AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE SEMENTES DE <i>Sterculia striata</i> A. St. Hil et Naudin SUBMETIDAS A ARMAZENAMENTO.....	50
RESUMO.....	50
ABSTRACT.....	51
INTRODUÇÃO.....	52
MATERIAL E MÉTODOS.....	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
CONCLUSÃO GERAL.....	67

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA DE ÓRGÃOS VEGETATIVOS DE <i>Sterculia striata</i> A. St-Hil et Naudin.....	13
TABELA 1 – Constituintes químicos das folhas, caules e raízes investigados de <i>Sterculia striata</i> , reagentes histoquímicos utilizados e resultados obtidos.....	21
CAPÍTULO II: HIGROSCOPICIDADE DE SEMENTES DE <i>Sterculia striata</i> A. St-Hil et Naudin.....	30
TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais.....	36
TABELA 2. Valores médios da atividade de água (decimal) das sementes de <i>S. striata</i> , obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e do teor de água de equilíbrio (decimal b.s.) (Rio Verde – GO, 2016).....	39
TABELA 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de <i>S. striata</i> , (R^2) - coeficientes de determinação, (SE) - erro médio estimado, (P) - erro médio relativo, (X) - teste de Qui-quadrado (Rio Verde – GO, 2016).....	40
TABELA 4. Coeficientes dos modelos ajustados para as diferentes condições de equilíbrio higroscópico para as sementes de <i>S. striata</i> (Rio Verde – GO, 2016).....	41
CAPÍTULO III: AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE SEMENTES DE <i>Sterculia striata</i> A. St. Hil et Naudin SUBMETIDAS A ARMAZENAMENTO.....	50
TABELA 1. Valores médios de Germinação (%), Emergência (%), Envelhecimento Acelerado - EA (%) e Teor de Água - TA (%) no tratamento tempo de armazenamento, de sementes de <i>S. striata</i> armazenadas por período de 12 meses. Rio Verde, Goiás – Brasil.....	58

TABELA 2. Valores médios de Germinação, Emergência, Envelhecimento Acelerado (EA) e Teor de Água (TA), (%b.u.) na interação entre os tratamentos temperatura e tempo de armazenamento, de sementes de <i>S. striata</i> armazenadas por período de 12 meses. Rio Verde, Goiás – Brasil.....	59
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
INTRODUÇÃO.....	1
FIGURA 1. Árvore do Chichazeiro (<i>S. striata</i>) (A); Detalhe do fruto deiscente maduro (B); Detalhes da semente: da direita para a esquerda – tegumento externo, camada de amido e tegumento interno (C). Itapuranga – GO. 2015. (Fonte: a autora).....	2
CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA DE ÓRGÃOS VEGETATIVOS DE <i>Sterculia striata</i> A. St-Hil et Naudin.....	13
FIGURA 1- Cortes transversais da folha. A- nervura principal (Du-ducto, Fi-fibra, Xi-xilema, Fl-floema); B- Mesofilo foliar (Ed Ad- epiderme adaxial, PP-parênquima paliçádico, FV-feixe vascular, PE-parênquima esponjoso, TS-tricoma secretor, Ep Ab- epiderme abaxial, Es- estômato); C- Detalhe do ducto presente na nervura principal em PAS (Mu-mucilagem, Du-ducto, Am-amido); D- Mesofilo foliar (Ep Ad-epiderme adaxial, Mu-mucilagem, PP- parênquima paliçádico, PE-parênquima esponjoso, FV-feixe vascular, Ep Ab-epiderme abaxial, Es-estômato).....	18
FIGURA 2- Epiderme abaxial: A e C- TE-tricoma estrelado por varredura; B- TE- tricoma estrelado por fluorescência; D- TG- tricoma glandular por fluorescência.....	19
FIGURA 3- Epiderme foliar por impressão de epiderme: A- estrias da cera epicuticular; B- Es-estômato anomocíticos; C e D- Tr- tricomas tectores.....	20
FIGURA 4- Caule e raiz. Caule A-B. A- PC – parênquima cortical, CV – câmbio vascular; XI – xilema secundário; Dr – drusa; Esc – esclereídeos. Raiz C-F. XI – xilema; CV – câmbio vascular; PC –parênquima cortical; Fl – floema secundário; Du – ducto mucilaginoso; Per – periderme.....	22

FIGURA 5- Caule e raiz. Caule A-D. A- Su-súber, Esc-esclereídeo, Fe-composto fenólico; B- Esc-esclereídeo, PC- parênquima do córtex, Fel-feloderme, Mu-mucilagem; C- Esc- esclereídeo; D- PA-parênquima, Ev-elemento de vaso; Raiz. E-F. E- Fe-feloderme; F- MU-mucilagem.....	23
CAPÍTULO II: HIGROSCOPICIDADE DE SEMENTES DE <i>Sterculia striata</i> A. St-Hil et Naudin.....	30
FIGURA 1- Isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost, em diferentes condições de temperatura e atividade de água (Rio Verde – GO, 2016)	42
FIGURA 2 – Calor isostérico integral de dessorção para as sementes de <i>S. striata</i> em função do teor de água de equilíbrio (Rio Verde – GO, 2016).....	43
CAPÍTULO III: AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE SEMENTES DE <i>Sterculia striata</i> A. St. Hil et Naudin SUBMETIDAS A ARMAZENAMENTO.....	50
FIGURA 1- Teor de água nas sementes de <i>S. striata</i> ao longo de 12 meses de armazenamento, em três diferentes temperaturas, em comparação ao controle.....	60
FIGURA 2- A- atividade enzimática de superóxido dismutase (SOD), B- catalase (CAT), C- peroxidase do ascorbato (POX), D- glutationa redutase (GR) e E- glutationa S-Transferase (GST) e F- pela quantificação de monodeidroascorbato (MDA) em tecido de reserva e embrião de sementes de <i>Sterculia striata</i> , armazenadas a 10, 20 e 25°C por 12 meses. Pontos representam as médias e as barras verticais, o erro experimental. Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade. * Média não diferiu do controle pelo teste t a 5% de probabilidade.....	61

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACIONES E UNIDADES

APX.....	Ascorbato peroxidase
b.u.....	Base úmida
CAT.....	Catalase
CO ²	Gás carbônico
EDTA.....	Ácido etilenodiaminotetracético
EROs.....	Espécie Reativa de Oxigênio
GR.....	Glutaciona redutase
GST.....	Glutataiona-s-transferase
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
MDA.....	Aldeído malônico
MDAR.....	Aldeído malônico reutase
MEV.....	Microscopia Eletrônica de Varredura
O ₂ ⁻	Ânion superóxido
OH [•]	Radical hidroxila
PMSF.....	Fluoreto de fenilmetilsulfônico
POX.....	Ascorbato de fenóis
SOD.....	Superóxido dismutases

RESUMO

GAVAZZA, MELÍCIA INGREDI ARAÚJO GAVAZZA. Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, fevereiro de 2018. Caracterização higroscópica, anatômica, fisiológica e bioquímica de sementes de *Sterculia striata* A. St. Hil et Naudin. Orientadora: Juliana de Fátima Sales, Coorientador: Osvaldo Resende.

A *Sterculia striata*, conhecida como chichá, é integrante da família Malvaceae, composta por herbáceas, subarbustos, arbustos, árvores e lianas, compreendendo cerca de 250 gêneros e mais de 4200 espécies. Tem ampla distribuição no Cerrado brasileiro, presente em todas as regiões do país, sendo encontradas mais de uma espécie de características próximas, mas com peculiaridades morfológicas e possivelmente, anatômicas e histoquímicas. Trata-se de uma espécie nativa e sua principal forma de reprodução é via sementes. No entanto, são escassas as informações sobre a manutenção da sua qualidade ao longo do tempo. Assim, esse estudo teve por objetivos caracterizar os órgãos vegetativos da espécie, na expectativa de facilitar sua identificação dentro do grupo; determinar as isotermas de dessorção de sementes de *S. striata*, para diversas condições de temperatura e atividades de água, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e utilizá-los para determinação do calor isostérico de dessorção para *S. striata* e; avaliar a qualidade de sementes de chichá armazenadas sob diferentes condições de temperatura, considerando parâmetros fisiológicos e bioquímicos. Para tanto, foram feitas avaliações anatômicas e histoquímicas, evidenciou-se o comportamento higroscópico do material por meio de Higropalm, ajustando modelos matemáticos e, por fim, foram feitas determinações de substâncias antioxidantes como SOD, CAT, POX, GR, GST e MDA pela quantificação de proteína em tecidos de reserva desse material. Os resultados desta pesquisa são inéditos para a

descrição dos órgãos vegetativos de *Sterculia striata*. As folhas, caules e raízes de *S. striata* apresentam características xeromórficas, típicas de espécies nativas do Cerrado, tais como ceras epicuticulares, folhas hipostomáticas, tricomas tectores e glandulares, ductos secretores de mucilagem e idioblastos com cristais de oxalato de cálcio contendo compostos fenólicos. Os ductos secretores de mucilagem na nervura principal das folhas e os tricomas pluricelulares tectores estrelados são característicos da família Malvaceae e podem auxiliar na identificação desta espécie dentro de sua família taxonômica. Quanto à higroscopicidade, as isotermas obtidas para sementes de *S. striata* têm formato sigmoidal, padrão esse para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas. O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de chichá. O teor de água de equilíbrio de sementes de *S. striata* foi diretamente proporcional à atividade de água e inversamente proporcional à temperatura para o mesmo valor de atividade de água. Para sementes de *S. striata*, é necessária maior quantidade de energia para retirada da água, já que o calor isostérico aumenta à medida que o teor de água diminui. Com o aumento do armazenamento, há aumento na perda da qualidade das sementes de chichá. A viabilidade e o vigor das sementes de *S. striata* são mantidos por até nove meses de armazenamento e a redução na atividade enzimática de SOD e CAT é compensada pela ação antioxidante de POX, GR, GST e MDA.

Palavras-chave: germinação, enzimas, atividade de água.

ABSTRACT**HYGROSCOPIC, ANATOMICAL, PHYSIOLOGICAL, AND BIOCHEMICAL
CHARACTERIZATION OF *Sterculia striata* A. St. Hil et Naudin SEEDS****ABSTRACT**

GAVAZZA, MELÍCIA INGREDI ARAÚJO. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Rio Verde Campus, Goiás State (GO), Brazil, February 2018. **Physiological and biochemical evaluations of *Sterculia striata* A. St. Hil et Naudin seeds submitted to storage.** Advisor: Sales, Juliana de Fátima, Co-advisor: Resende, Osvaldo.

Sterculia striata, known as Chichá (xixa), belonging to *Malvaceae* family, is composed of herbaceous, sub-shrubs, shrubs, trees, and lianas and has around 250 genera and more than 4200 species. Widely distributed in Cerrado (Brazilian savannah), *Sterculia striata* can be found in all regions of this country and there is more than one species with similar characteristics but with morphological and possibly anatomical and histochemical peculiarities. It is a native species, and its main form of breeding is via seeds. However, there is very little information on maintaining its quality over time. Thus, this study aimed to: (a) characterize the species vegetative organs, in expectation to facilitate its identification inside the group; (b) determine the desorption isotherms of *S. striata* seeds under different temperature conditions and water activities; (c) adjust different mathematical models to the experimental data and use them for determining the desorption isosteric heat for *S. striata*; and (d) evaluate the Chichá seed quality stored under different temperature conditions, considering the physiological and biochemical parameters. For this purpose, anatomical and histochemical evaluations were carried out and hygroscopic behavior of the material was determined by Higropalm adjusting mathematical models; and, finally, antioxidant substances

[superoxide dismutase (SOD), Chloramphenicol acetyltransferase (CAT), Proline oxidase (POX), Glutathione reductase (GR), Glutathione S-Transferase (GST), and Malondialdehyde (MDA)] were determined considering the quantification of protein in reserve tissues of this material. Results of this research are unprecedented for describing the *Sterculia striata* vegetative organs. *S. striata* leaves, stems, and roots show xeromorphic characteristics, typical from Cerrado native species, such as: (a) epicuticular waxes; (b) hypostomatic leaves; (c) tectorial and glandular trichomes; (d) mucilage secretory ducts; and (e) idioblasts with calcium oxalate crystals containing phenolic compounds. Mucilage secretory ducts in the leaf primary veining and the starry tectors multicellular trichomes are characteristics from *Malvaceae* family and may aid in the identification of this species inside its taxonomic family. Regarding hygroscopicity, the isotherms obtained for *S. striata* seeds have a sigmoidal shape, which is standard for the hygroscopic balance of agricultural products; the Chung-Pfost model was the one that best represented the hygroscopicity of the chichá seeds; the moisture content balance of *S. striata* seeds was directly proportional to the water activity and inversely proportional to the temperature for the same value of water activity; for *S. striata* seeds, a greater amount of energy to withdraw water is needed, because the isosteric heat increases as the moisture content decreases. Increasing the storage, the loss of quality of the chichá seeds increases; the *S. striata* seeds viability and vigor are maintained when stored for up to nine months and the reduction in the SOD and CAT enzymatic activity is compensated by the POX, GR, GST, and MDA antioxidant action.

Keywords: Germination. Enzymes. Water activity.

1. INTRODUÇÃO

O segundo maior bioma do Brasil é o Cerrado, com 204 milhões de hectares, aproximadamente 25% do território nacional, e exhibe extensa diversidade de fauna e flora (GOEDERT, WAGNER e BARCELLOS, 2008).

O interesse industrial por frutas do cerrado foi despertado após os anos 40. Silva, Junqueira e Andrade (2001) compilaram 58 espécies frutíferas do Cerrado, altamente nutritivas, ricas em vitaminas e sais minerais.

Há uma estimativa de cerca de 10.000 espécies de plantas, das 60.000 fanerógamas distribuídas pelo país, exclusivas do Cerrado, sendo encontradas inúmeras espécies com propriedades medicinais e/ou frutíferas de importância extrativista para as populações tradicionais (GUSMÃO, VIEIRA E FONSECA, 2006).

Diversas espécies nativas ainda são pouco conhecidas e apresentam potencialidades para a indústria de alimentos, podendo-se destacar, entre essas espécies, o chichá, boa fonte proteica, energética e de sabor agradável (ARAÚJO, 2004).

1.1 Chichá e suas potencialidades

A *Sterculia striata* A St. Hil et Naud é uma espécie pioneira pertencente à família Malvaceae, típica do cerrado brasileiro, com dispersão zoocórica e com sementes de caráter ortodoxo (MORI, PIÑA-RODRIGUES e FREITAS, 2012). Conforme Lorenzi (2002), sua área de ocorrência abrange a região amazônica até o Piauí, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo na floresta semidecídua e na sua transição para o Cerrado.

Conhecida popularmente como chichá, mendubi-guaçu, arachá-do-norte, castanha-de-macaco e chichazeiro do cerrado, é uma árvore que tem de oito a 14m de altura, suas folhas são recortadas em três a cinco lobos e caem durante a época seca. As flores são pequenas e avermelhadas, florescem durante os meses de dezembro a março. O fruto, cerca de 100 a 180 por planta, tem coloração castanho-alaranjada e surge nas extremidades dos ramos, amadurecendo no período de junho a setembro (SILVA, JUNQUEIRA e ANDRADE, 2001).

O fruto, ao se abrir, deixa à mostra sementes que podem variar de 9 a 20 unidades por fruto. Essas sementes são ovoides, com 2cm de comprimento, apresentam dois tegumentos - um externo, fino, facilmente destacável, de cor negra e outro interno de cor cinza - e uma amêndoa, que é popularmente consumida crua, cozida ou torrada (SILVA, JUNQUEIRA e ANDRADE, 2001).

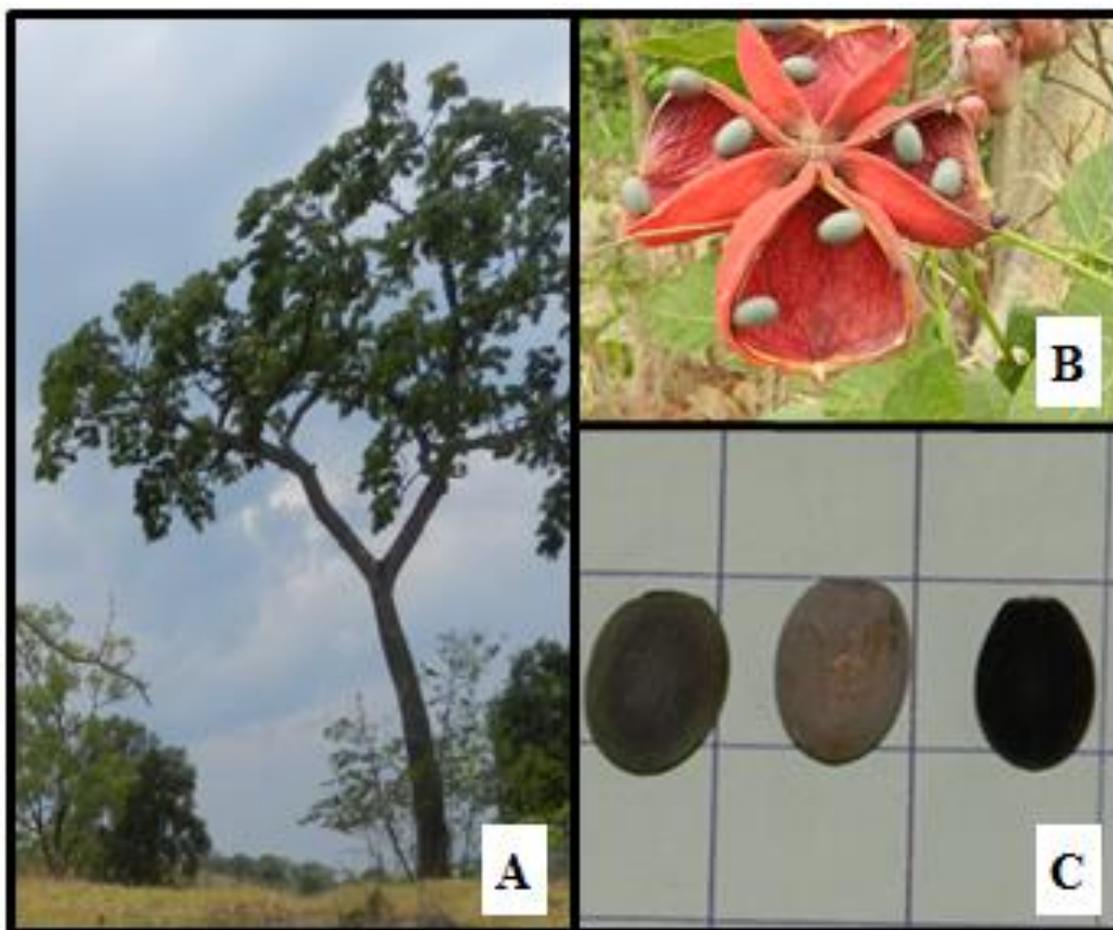


FIGURA 1. Árvore do Chichazeiro (*S. striata*) (A); Detalhe do fruto deiscente maduro (B); Detalhes da semente: da direita para a esquerda – tegumento externo, camada de amido e tegumento interno (C). Itapuranga – GO. 2015. (Fonte: a autora).

Com relação à amêndoa, seu grande diferencial é o baixo teor de lipídios, em torno de 30,2%, quando comparada com os demais tipos de nozes disponíveis no

mercado, como a macadâmia (75,5%), a castanha-do-brasil (66%), o pistache (55-60%), a avelã (57-67%) e a castanha de caju (43%) (ARAÚJO, 2004). Em estudo sobre o potencial nutricional da amêndoa do chichá, Silva e Fernandes (2011) verificaram amêndoa crua e torrada contendo, respectivamente, 25,1% e 26,2% de lipídios, 44,4% e 45,6% de carboidratos e 20,8% e 22,1% de proteína. Conforme os autores, a amêndoa apresenta alto teor de proteína e fibra, e o perfil de ácidos graxos indica ser boa fonte de monoinsaturados, principalmente ácido oleico.

Quando comparada a outras amêndoas, a amêndoa do chichá, em estudo desenvolvido por Carvalho (2008), além da boa aceitabilidade dos provadores, apresentou-se como mais promissora para o público que busca alimentos energéticos com baixo ganho de massa, visto os baixos teores de lipídios encontrados. Assim, considerando que a preferência do consumidor é, em geral, por produtos com baixo teor de óleo, a "noz de chichá" pode ser considerada uma noz "light", apresentando, assim, bom potencial para inserção nos mercados nacional e internacional (MATA, FROTA e ALVES, 2010).

Investigações fitoquímicas mostram que o óleo da semente pode ser aproveitado na preparação de biodiesel. Conforme as análises físico-químicas do craqueado de chichá, ele apresenta ainda características favoráveis para sua utilização como combustível (ROCHA, MANGAS e SUAREZ, 2011). Considerando aspectos do óleo e do biodiesel do chichá, como teor de óleo, índice de acidez, de iodo, viscosidade cinemática e massa específica, percebeu-se um forte potencial como fonte de triglicerídios na produção do biodiesel (GABRIEL, 2017).

Na medicina popular, suas folhas têm sido empregadas topicamente com manteiga quente ou óleo de oliva para o tratamento de furúnculos (AGRA et al., 2007), entretanto novas pesquisas já apontam para o potencial de seus compostos químicos para desenvolvimento de produtos fármacos em geral.

Sousa et al. (2012), em testes com roedores, observaram que o extrato etanólico de *S. striata* inibiu lesões gástricas sem alterar a secreção gástrica, além de restaurar a atividade da catalase, apontando-o como potencial gastroprotetor. Silva et al. (2013) relataram que o extrato etanólico obtido da casca da mesma espécie, além de ter atividade antiendométrica, tem acentuada ação anticonceptiva em testes feitos com roedores.

Eiras et al. (2007) apontaram o potencial da *Sterculia striata* para gomas utilizadas para produção de filmes nanoestruturais. Em nova pesquisa, Eiras et al.

(2010) corroboraram tal resultado, além de apontar a espécie para a manipulação em nanoescala de novos polímeros naturais biodegradáveis, o que permite uma variedade de novas oportunidades para o uso desses materiais em dispositivos biomédicos e analíticas avançadas.

É uma planta pioneira, de rápido crescimento, tolerante a terrenos secos e pedregosos, sendo indicada para plantios destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente, o que a torna importante também para processos de revitalização de mata original (GOEDERT, WAGNER e BARCELLOS, 2008). Apresenta ainda potencial madeireiro, artesanal, paisagístico e alimentar, pois seus frutos e sementes (nozes) podem ser consumidos *in natura* (LORENZI, 2002).

Pelo que pode ser percebido, são inúmeras as finalidades de utilização da espécie, conferindo-lhe diferentes possibilidades para interesse comercial.

1.2 Caracterização anatômica e histoquímica

O chichá é integrante da família Malvaceae, composta por herbáceas, subarbustos, arbustos, árvores e lianas, compreendendo cerca de 250 gêneros e mais de 4200 espécies, cerca de 47% do total das angiospermas levantadas nos país (BFG, 2015). Trata-se de uma espécie nativa, com ampla distribuição no Cerrado brasileiro, presente em todas as regiões do país, sendo encontrada mais de uma espécie (BOVINI, et al., 2015) de características próximas, mas com peculiaridades morfológicas e possivelmente anatômicas e histoquímicas diferentes.

Informações da anatomia possibilitam identificar botanicamente espécies e localizar estruturas secretoras, facilitando a identificação de espécies morfológicamente semelhantes, relações ecológicas e o papel adaptativo de alguns vegetais. Essas informações são importantes para a padronização de materiais na fabricação de medicamentos e nas pesquisas científicas, permitindo maior controle e certificação da identidade da espécie (METCALFE; CHALK, 1957; RAVEN et al., 2014), direcionando ainda para o armazenamento de sementes, manejo e reconhecimento das espécies em banco de sementes no solo (DONADIO; DEMATTÊ, 2000).

Vegetais podem desenvolver mecanismos morfológicos e fisiológicos para facilitar sua sobrevivência sob condições adversas de solo, água e luminosidade, e esses mecanismos, em órgãos como a folha, por exemplo, podem ser representados pela redução do tamanho, densidade de tricomas, estômatos profundos, acúmulo de

mucilagem e outros metabólitos (BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002; SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005).

Por meio de técnicas histoquímicas, são facilitadas a identificação e a localização desses metabólitos produzidos e suas estruturas secretoras correspondentes (GIULIANI et al., 2008).

1.3 Armazenamento de sementes

Até a criação do Distrito Federal, a economia da região do cerrado se baseava apenas na criação extensiva de bovinos e na agricultura de subsistência. A partir desse momento, políticas e programas de desenvolvimento foram inseridos visando a viabilizar e a promover a incorporação dessa região ao processo produtivo intensivo (GOEDERT, WAGNER e BARCELLOS, 2008). Em paralelo a esse desenvolvimento e expansão de frentes agrícolas no bioma, segue em expressivo crescimento a ameaça ao bioma e a suas espécies, de maneira geral, ainda tão pouco exploradas.

O extrativismo vegetal se constitui em importante alternativa de emprego e renda na medida em que a demanda por frutas nativas se expande, e a comercialização da maioria delas vem sendo feita em feiras livres, mercados, frutarias e às margens das estradas da região do Cerrado, com grande aceitação popular (MORI, 2012).

A semente é a forma pela qual a planta sobrevive o máximo de tempo com o mínimo de atividade fisiológica, sendo uma das formas indicadas para armazenar recursos genéticos garantindo, em condições adequadas, a conservação das espécies.

Além disso, a produção de sementes em muitas espécies nativas é irregular, assim o armazenamento facilita sua disponibilidade além de permitir a conservação e a viabilidade genética. Diferentes fatores, no entanto, influenciam o armazenamento, entre eles, o teor de água inicial da semente, embalagem, tempo e tipo de armazenamento (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

A deterioração de sementes é um processo natural e inevitável, resultando na redução do vigor, e o entendimento desse processo é importante tanto para bancos de germoplasma como para a indústria de sementes (BRAGANTINI, 2005). O armazenamento de sementes assume, portanto, papel importante na manutenção da qualidade, e quando bem conduzido minimiza tanto o processo deteriorativo, como também mantém a viabilidade do material genético por muito tempo.

Assim, o armazenamento constitui-se em uma etapa obrigatória de um programa de produção de sementes. Armazenar é manter a qualidade das sementes, reduzindo ao mínimo seu processo de deterioração, que pode ser mais rápido ou mais lento, dependendo das características ambientais e da própria semente.

1.3.1 Armazenamento e atividade de água em sementes

Durante o período de armazenamento, a temperatura e a umidade relativa do ar são os principais fatores de suma importância para a manutenção da qualidade das sementes (MACEDO, GROTH e SOAVE, 1998). Desses dois fatores, a umidade relativa é considerada mais importante, dada sua relação direta com o grau de umidade das sementes, uma vez que o aumento no teor de água da semente eleva sua atividade metabólica. Entretanto, a temperatura contribui significativamente, afetando a velocidade dos processos bioquímicos (DELOUCHE et al., 1973).

Harrington (1973) recomenda para armazenagem em embalagens impermeáveis que o teor de água seja de 6 a 12% b.u. para sementes amiláceas e de 4 a 9% para oleaginosas. Teores de água superiores a 12% para amiláceas e 9% para oleaginosas fazem com que as sementes armazenadas em embalagens impermeáveis percam sua viabilidade mais rapidamente.

Em estudos de secagem, manuseio, armazenagem, embalagem e transporte de sementes, é indispensável avaliar o comportamento higroscópico dos materiais (ARAÚJO et al., 2001).

Conhecer as curvas de equilíbrio higroscópico é importante para se restringir a desidratação de um produto e estimar as variações no teor de água sob variações de temperatura e umidade relativa (HALL, 1980). Permite ainda determinar as faixas de atividade de água no produto, que reduzam a possibilidade de desenvolvimento de fungos e outros patógenos, além de manter a qualidade do produto armazenado (GONELI et al., 2007).

Segundo Lima et al. (2008), o calor isostérico é essencial nos estudos de secagem e armazenamento de produtos agrícolas como parâmetro para a estimativa da quantidade mínima de calor necessária para remover determinada quantidade de água.

Consequentemente, o período de viabilidade da semente pode ser aumentado não somente pela redução do teor de água, mas também pela redução da temperatura de armazenamento. Assim, é necessário o conhecimento das relações existentes entre

produto, temperatura e umidade relativa do ar, visando a condições que reduzam mudanças físicas, químicas, microbiológicas e fisiológicas durante o armazenamento (RESENDE et al., 2006).

1.3.2 Estresse oxidativo e enzimas removedoras de radicais livres

Durante o armazenamento, as sementes sofrem um processo natural de envelhecimento, que diminui seu vigor, reduzindo a qualidade e entre os fatores que aceleram esse processo está a temperatura (BEWLEY, 2013).

Em função do armazenamento, há redução da qualidade das sementes pela perda da integridade de membranas, enzimas e DNA (BAILLY, 2004; SHABAN, 2013). Tais alterações resultam na formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), cujas principais são ânion superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH^\cdot) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (BHATTACHARJEE, 2010).

A intensidade desses danos é proporcional à capacidade de os tecidos eliminarem esses radicais. Assim, as sementes têm um sistema de defesa formado por enzimas como superóxido dismutases (SOD), catalases (CAT), ascorbato peroxidase (APX), de fenóis (POX) e glutathione redutase (GR) (BAILLY et al., 2008).

A presença dessas enzimas, mesmo em pequenas concentrações, quando comparadas ao substrato oxidante, pode inibir ou retardar o processo oxidativo. Dessa maneira, a avaliação de tais enzimas é indicativo do processo de deterioração, podendo auxiliar na avaliação da qualidade de sementes (TOMMASI et al., 2001; TOMMASI et al., 2006).

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, M. F.; FREITAS, P. F.; BARBOSA-Filho, J. M. 2007. Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 17: 114-140.

ARAÚJO, E.C.E. Chichá (*Steculia striata* St. Hil. Et Naud.): uma nova opção para os mercados nacional e internacional de nozes. **Informativo SBF**, Brasília, v.16, n.4, p.13-14, 2004.

ARAÚJO, L. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecamento de sementes de milho-doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.991-995, 2001.

BAILLY, C.; EL-MAAROUF-BOUTEAU.; CORBINEAU, F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *Comptes Rendus Biologies*, v. 331, p. 806-814, 2008.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H. NONOGAKI, H. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer. 3 ed., p.392, 2013.

BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S. D. *Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants*. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BOSABALIDIS, A.M.; KOFIDIS, G. 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive Cultivars. *Plant Science*, 163: 375-379.

BOVINI, M.G.; ESTEVES, G.; DUARTE, M.C.; TAKEUCHI, C.; KUNTZ, J. 2015 **Malvaceae na Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB156>>. Acesso em 18 de dezembro de 2017.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28 p.

CARVALHO, M.G. **Barras de cereais com amêndoas de chichá, sapucaia e castanha-do-gurgueia, complementadas com casca de abacaxi**. Universidade Federal do Ceará, 2008. 93 p. (Dissertação de Mestrado).

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590p.

CUNHA, H.N. Nanocompostos eletroativos de poli-o-metoxianilina e possisacarídeos naturais. *Química Nova*, v.30, n.5, p.1158-1162, 2007.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 427-452, 1973.

DONADIO, N.M.; DEMATTÊ, M.E.S.P. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) e jacarandáda-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. Ex Benth.) - Fabaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n.1, p.64-73, 2000.

EIRAS, C.; PASSOS, I.N.G.; BRITO, A.C.; SANTOS JÚNIOR, J.R.; ZUCOLOTTI, V.; OLIVEIRA JR, O.N.; KITAGAWA, I.L.; CONSTANTINO, C.J.L.;

EIRAS, C.; SANTOS, A.C.; ZAMPA, M.F.; BRITO, Q.C.F.DE; CONSTANTINO, C.J.L.; ZUCOLOTTI, V.; SANTOS JÚNIOR, J.R. Natural polysaccharides as active biomaterials in nanostructured films for sensing. **Journal of Biomaterials Science**, 21, 1533-1543, 2010.

GABRIEL, R. Avaliação dos parâmetros físico-químicos das blendas de biodiesel metílico e etílico de chichá (*Sterculia striata*) com diesel mineral. Programa de Pós-Graduação EM Engenharia química. UFAL. 2017. 105p. Dissertação de Mestrado.

GIULIANI, C.; PELLEGRINO, R.; TIRILLINI, B.; BINI, L. M. Micromorphological and chemical characterisation of *Stachys recta* L. subsp. *serpentini* (Fiori) Arrigoni in comparison to *Stachys recta* L. subsp. *recta* (Lamiaceae). **Flora**, 203: 376-385, 2008.

GOEDERT, W. T.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. de O.. Savanas Tropicais: Dimensão, Histórico e Perspectivas. In: _____ **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre Sociedade**, Agronegócio e Recursos Naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F.A.; FONSECA, E.M. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. Ex. A. Juss). **Cerne**, v.12, n. 1, p. 84-91, 2006. Hall, C. W. Drying and storage of agricultural crops. Westport: AVI, 1980. 381p.

HARRINGTON, J. Packaging seed for storage and shipment. **Seed Science and Technology**, v.1, n.3, n.701-709, 1973.

LIMA, E. E. de; SILVA, A. S. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Estudo das isotermas e calor isostérico de adsorção da farinha da coroa de frade. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, p.163-170, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 368p

MACEDO, E.C.; GROTH, D.; SOAVE, J. Influência da embalagem e do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de algodão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.20, n.2, p.454-461, 1998.

MATA, M.F., FROTA, A.F., ALVES, E.U. Superação da dormência de sementes de *S. striata* (*Sterculia striata* St. Hil. Et Naudin.) Malvaceae-Sterculioideae. **Revista Homem, Espaço e Tempo**. Outubro de 2010.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy Of The Dicotyledons, leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses**. Oxford. v.1. 1957. 806p.
MORI, E.S.; PINA-RODRIGUES, F.C.M.; FREITAS, N.P. **Sementes florestais- guia para germinação de 100 espécies nativas**. Org.: Martins, R.B. 1ed. Instituto Refloresta. São Paulo-SP. 2012. 83p.

R.C.M. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Sterculia striata* A. St.-Hil. et Naudin (Malvaceae) in Rodents. **Journal of Medicinal Food**. 00(0), 2013, 1-7.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. et EICHHORN, S.E. 2014. **Biologia Vegetal**. 8 ed. Guanabara Koogan. 850p.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.626-631, 2006.

ROCHA, F. N.; MANGAS, M. B. P.; SUAREZ, P. A. Z. **Caracterização do biodiesel e craqueado de chichá (*Sterculia striata*)**. 34ª Reunião Anual da SBQ – Florianópolis - SC. Universidade Brasília. Brasília. 2011.

SHABAN, M. Review on physiological aspects of seed deterioration. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, p. 627-631, 2013.

SILVA D.B., SILVA J.A., JUNQUEIRA N.T.V., ANDRADE L.R.M. **Frutas do cerrado**. Brasília: Embrapa; 2001. 179p.

SILVA, A.G.deM.e; FERNANDES, K.F. Composição química e antinutrientes presentes nas amêndoas cruas e torradas de chichá (*Sterculia striata* A. St. Hill et Naudin). **Revista de Nutrição**, Campinas, 24(2):305-314, mar./abr., 2011.

SILVA, F.V.S.; OLIVEIRA, I.S.; FIGUEIREDO, K.A.; MELO JUNIOR, F.B.; COSTA, D.A.; CHAVES, M.H.; AMARAL, M.P.M.; ALMEIDA, F.A.O.; OLIVEIRA, SILVA, L. M; ALQUINI, Y.; CAVALET, V. Contribuição à reflexão sobre a concepção de natureza no ensino de Botânica. **Revista Brasileira Estudos Pedagógicos**. Brasília, v. 86, n. 213/214, p. 110-120. 2005.

SOUSA, A.J.; OLIVEIRA, I.S.; SILVA, F.V.; COSTA D.A.; CHAVES, M.H.; OLIVEIRA, F.A.; NUNES, P.H.M.; OLIVEIRA, R.C.M. Gastroprotective activity of *Sterculia striata* A. St. Hil. et Naudin (Malvaceae) in rodents. **Zeitschrift für Naturforschung**. 67(3-4):163-71. 2012.

TOMMASI, F.; PACIOLLA, C.; PINTO, M.C.; GARA, L.D. Effects of storage temperature on viability, germination and antioxidant metabolism in *Ginkgo biloba* L. seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.44, p.359-368, 2006.

TOMMASI, F.; PCIOLLA, C.; PINTO, M. C.; GARA, L. D. A comparative study of glutathione and ascorbate metabolism during germination of *Pinus pinea* L. seeds. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.52, n.361, p.1647-1654, 2001.

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar fisiológica e bioquimicamente sementes de *Sterculia striata* A. St. Hil et Naud submetidas a armazenamento, bem como descrever a anatomia e a histoquímica dos órgãos vegetativos e o comportamento higroscópico para a espécie.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA DE ÓRGÃOS VEGETATIVOS DE *Sterculia striata* A. St-Hil et Naudin

(Normas de acordo com a Revista Acta Scientiarum Agronomy)

RESUMO

Sterculia striata A. St-Hil et Naudin, pertencente à família Malvaceae, é uma espécie pioneira, típica do cerrado brasileiro, com dispersão zoocórica e com sementes de caráter ortodoxo. Estudos anatômicos e histoquímicos de espécies da família Malvaceae podem auxiliar na classificação taxonômica deste grupo, além de fornecer dados relacionados à ecologia da planta, visto que respostas adaptativas são evidenciadas em estratégias nas estruturas anatômicas. Objetivou-se com esse trabalho a caracterização atômica e histoquímica dos órgãos vegetativos de *S. striata*. As folhas, caules e raízes de *Sterculia striata* apresentam características xeromórficas, típicas de espécies nativas do Cerrado, tais como ceras epicuticulares, folhas hipostomáticas, presença de tricomas, ductos secretores de mucilagem e secreção de compostos fenólicos. Os ductos secretores de mucilagem na nervura principal das folhas e os tricomas pluricelulares tectores estrelados são característicos da família Malvaceae e podem auxiliar na identificação desta espécie dentro de sua família taxonômica.

Palavras-chave: chichá; compostos fenólicos; mucilagem; tricomas tectores pluricelulares estrelados;

ANATOMICAL AND HISTOCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF

Sterculia striata A. St. Hil et Naudin VEGETATIVE ORGANS

(Standards according to the Acta Scientiarum Agronomy Magazine)

ABSTRACT

Sterculia striata A. St. Hil et Naudin, belonging to the *Malvaceae* family, is a pioneer species typical of Cerrado (Brazilian savannah) with zoochorous dispersion and orthodox seeds. Anatomical and histochemical studies of *Malvaceae* family species can aid in the taxonomic classification of this group, in addition to provide data related to the ecology of the plant, since adaptive responses are highlighted strategically in anatomical structures. This study aimed to show the anatomical and histochemical characterization of the *S. striata* vegetative organs. Leaves, stems, and, roots of *S. striata* show xeromorphic characteristics typical of Cerrado native species, including epicuticular waxes, hypostomatic leaves, presence of trichomes, mucilage secretory ducts, and phenolic compounds secretion. Mucilage secretory ducts in the leaf primary veining and starry tectors multicellular trichomes are characteristics of the *Malvaceae* family and can help to identify *S. striata* inside its taxonomic family.

Keywords: Chichá. Phenolic compound. Mucilage. Starry tectors multicellular trichomes.

INTRODUÇÃO

O chichazeiro é uma espécie nativa do Brasil que se destaca, entre várias potencialidades no ramo alimentar, por ter uma amêndoa de boa aceitabilidade, com baixo teor de lipídios, e propriedades farmacêuticas e medicinais (Eiras et al., 2010; Mata, Frota e Alves, 2010).

Sterculia striata A. St-Hil et Naudin é uma espécie pioneira, pertencente à família Malvaceae, típica do cerrado brasileiro, com dispersão zoocórica e com sementes de caráter ortodoxo (Mori, Pina-Rodrigues e Freitas, 2012).

Conhecida popularmente como chichá, mendubi-guaçu, arachá-do-norte, castanha-de-macaco e chichazeiro do cerrado, é uma árvore que tem entre 8 a 14 m de altura. Suas folhas são recortadas em três a cinco lobos e caem durante a época seca. As flores são pequenas e avermelhadas, florescem durante os meses de dezembro a março. O fruto, cerca de 100 a 180 por planta, tem coloração castanho-alaranjada e surge nas extremidades dos ramos, amadurecendo no período de junho a setembro. O fruto, ao se abrir, expõe as sementes, que podem variar de 9 a 20 unidades por fruto. As sementes são ovoides, com 2 cm de comprimento, apresentam dois tegumentos - um externo, fino, facilmente destacável e de coloração negra e outro interno de coloração cinza - e uma amêndoa, que é popularmente consumida crua, cozida ou torrada (Silva et al., 2001).

Pela sua importância na família Malvaceae, diversos estudos anatômicos e histoquímicos têm sido ferramenta para auxiliar na classificação taxonômica (Rocha et al., 2011). O estudo anatômico pode ainda ser relacionado à ecologia da planta, uma vez que respostas são evidenciadas em estratégias adaptativas em níveis celulares e histológicos do vegetal (Dickison, 2000). O uso da histoquímica é amplamente utilizado por permitir distinguir a natureza de compostos primários ou secundários e reconhecer onde são sintetizados ou armazenados.

Diante do exposto e da carência de informações, este estudo teve por objetivo fazer a caracterização anatômica e histoquímica dos órgãos vegetativos de *Sterculia striata*, visando a facilitar a caracterização da espécie e do grupo.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material botânico

Frutos de *Sterculia striata* foram coletados maduros, identificados pela coloração totalmente avermelhada ou parcialmente vermelhos com linha de deiscência protuberante. Para as coletas, foram utilizados frutos de 25 plantas matrizes, colhidos manualmente, conforme as coordenadas geográficas 15°42'617"S, 50°10'665"W; 15°37'268"S, 50°2'658"W; 15°39'871"S, 50°4'100"W; 15°37'579"S, 50°14'062"W; 15°42'736"S, 50°11'473"W; 15°44'020"S, 50°11'064"W e 15°46'503"S, 50°08'446"W, localizadas em zona rural no município de Itapuranga, Goiás, Brasil, em outubro de 2015. A exsicata da amostra encontra-se no Herbário Jataiense, da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí.

Após a coleta, os frutos foram beneficiados no Laboratório de Sementes, do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde (IF Goiano, Rio Verde), Rio Verde, Goiás, Brasil. Foram feitas a abertura dos frutos, a extração manual das sementes, a homogeneização, prévia e seleção, tendo as sementes sido armazenadas em sacos plásticos esterilizados, identificados, em freezer a 20°C.

As sementes foram semeadas em substrato areia lavada e esterilizada a 100°C por três dias, tendo sido cultivado um exemplar em casa de vegetação por 365 dias. Após esse período, foram coletadas amostras dos órgãos vegetativos desse indivíduo para a realização das análises anatômicas e histoquímicas.

Análises anatômicas e histoquímicas

As amostras coletadas das folhas, caule e raízes foram conduzidas ao Laboratório de Anatomia Vegetal, do IF Goiano, Rio Verde, seccionadas em 0,5 cm² do terço médio das folhas, 5 cm² do caule e 5 cm² de raiz (de uma planta aos 365 dias após semeadura) para a fixação em solução de Karnovsky (1965) por 24 h. Em seguida, foram desidratadas em série etílica crescente e infiltradas em historesina (Historesin Leica).

O material foi seccionado a 5 µm de espessura, em micrótomo rotativo, modelo 1508R. As seções foram coradas com azul de toluidina 0,05%, em tampão fosfato 0,1 M, pH 6,8 (O'Brien et al., 1964), para a análise estrutural e histoquímica.

As análises dos constituintes químicos foram feitas em luz visível por meio de testes histoquímicos, conforme a metodologia de McManus (1948), com reagente de Schiff/ácido periódico para detecção de polissacarídeos neutros; Pizzolato e Lillie (1973) com ácido tânico/cloreto férrico para mucilagens; Gabe (1968) com dicromato de potássio para compostos fenólicos; Vidal (1970) com reagente Xylidine Ponceau para proteínas; e Johansen (1940) com floroglucinol para paredes lignificadas. O estudo

histoquímico com vermelho neutro (KIRK, 1975) para identificação de lipídios foi feito em luz ultravioleta.

Para as análises da superfície foliar, as amostras das superfícies adaxial e abaxial das folhas foram submetidas à técnica de impressão de epiderme com cianocrilato (Segatto et al., 2004) e à microscopia de fluorescência, utilizando luz ultravioleta.

Para a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), as amostras de folhas foram fixadas em solução de Karnovsky, por um período mínimo de 24 horas, lavadas em tampão cacodilato e pós-fixadas em tetróxido de ósmio 1% em água por 1 hora. Em seguida, as amostras foram desidratadas em série etanólica crescente (50, 70, 90 e 100% por três vezes) e submetidas à secagem em ponto crítico de CO₂, montados em “stubs” e impregnadas em ouro. As eletromicrografias foram feitas em MEV no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra-Estrutural, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Posteriormente, as imagens foram obtidas através do microscópio Olympus, modelo BX61, com câmera digital modelo DP-72 acoplada. As escalas e legendas acompanham as fotomicrografias.

RESULTADOS

Folha

Em *Sterculia striata*, a nervura principal da folha é biconvexa, com maior proeminência voltada à epiderme abaxial. As epidermes adaxial e abaxial da região da nervura principal são unisseriadas e apresentam cutícula delgada. As células epidérmicas adaxiais são colunares, enquanto as abaxiais são achatadas. Colênquima lacunar e fibras esclerenquimáticas ocorrem abaixo da epiderme adaxial. Células parenquimáticas de preenchimento estão presentes em toda a extensão da nervura principal, apresentando reserva de amido (Figura 1C). O feixe vascular é constituído por elementos de metaxilema e protoxilema, localizados internamente, e pelo floema, externamente. Fibras esclerenquimáticas circundam o feixe vascular principal em quase toda a sua extensão. Na região de nervura principal de *Sterculia striata*, é possível observar a presença de ducto e, conforme os testes histoquímicos, esse ducto secreta mucilagens (Figura 1C, Tabela 1).

Na região de entrenervura de *S. striata*, a epiderme adaxial é multisseriada, sendo composta por duas camadas de células epidérmicas retangulares e revestida por cutícula

delgada. A epiderme abaxial é unisseriada com cutícula delgada. Tricomas secretores ocorrem em depressões próximas às regiões de nervuras. Algumas células epidérmicas apresentam mucilagem (Figura 1D). A folha é hipostomática, com estômatos situados no mesmo nível das células epidérmicas. O mesofilo foliar é dorsiventral, com parênquima paliçádico subjacente à epiderme adaxial, constituído de, aproximadamente, quatro camadas de células, que ocupam 50% do mesofilo, e o parênquima é esponjoso e apresenta grandes espaços intercelulares. Idioblastos contendo drusas foram encontrados dispersos pelo parênquima paliçádico. Segundo Pimentel et. al (2011), idioblastos mucilaginosos ocorrem na epiderme da face adaxial do limbo foliar de *P. alnifolia* (Malvaceae). Os feixes vasculares são colaterais.

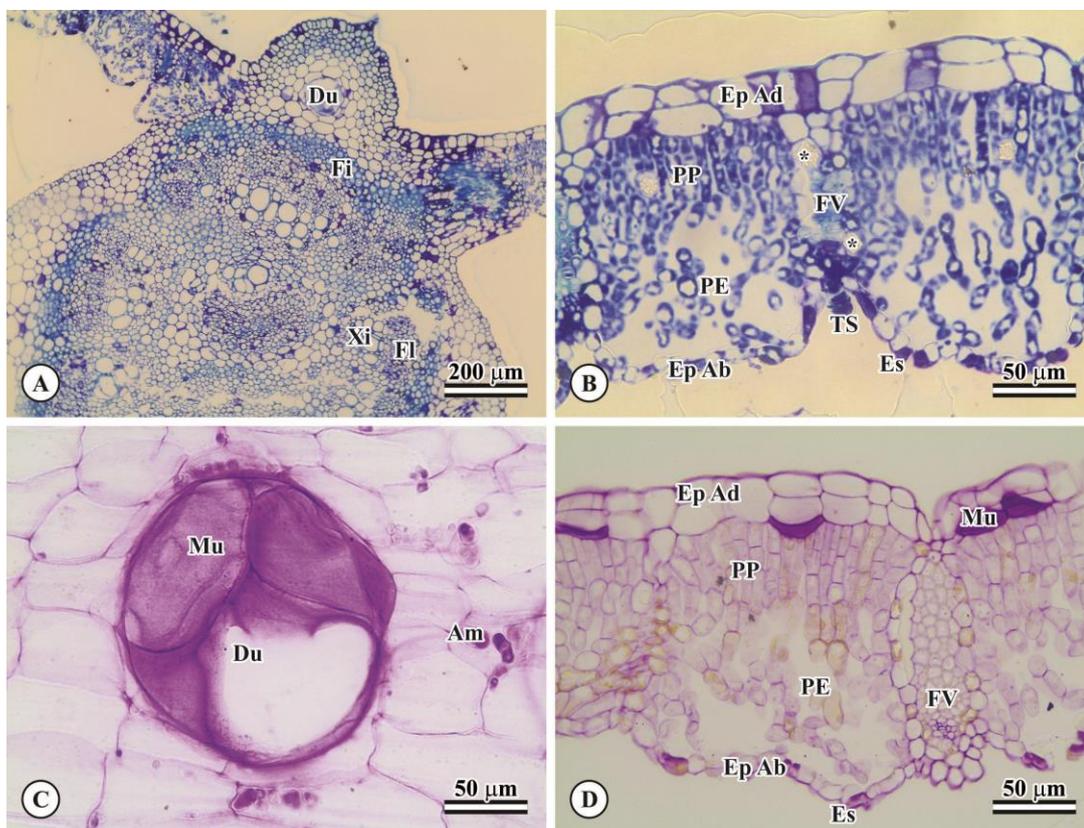


FIGURA 1- Cortes transversais da folha. A- nervura principal (Du-ducto, Fi-fibra, Xi-xilema, Fl-floema); B- Mesofilo foliar (Ed Ad- epiderme adaxial, PP-parênquima paliçádico, FV-feixe vascular, PE-parênquima esponjoso, TS- tricoma secretor, Ep Ab- epiderme abaxial, Es- estômato); C- Detalhe do ducto presente na nervura principal em PAS (Mu-mucilagem, Du-ducto, Am-amido); D- Mesofilo foliar (Ep Ad-epiderme adaxial, Mu-mucilagem, PP- parênquima paliçádico, PE-parênquima esponjoso, FV-feixe vascular, Ep Ab-epiderme abaxial, Es-estômato).

A epiderme adaxial de *Sterculia striata* apresenta parede periclinal externa da epiderme adaxial revestida por ceras epicuticulares e as paredes anticlinais são levemente sinuosas (Figura 3A). Estômatos estão ausentes na epiderme adaxial. A

epiderme abaxial de *Sterculia striata* apresenta células com paredes anticlinais sinuosas (Figura 3B). O mesmo foi observado em *L. bergii* em que todas as células da face abaxial se apresentam sinuosas (Somavilla e Graciano-Ribeiro, 2011). Na epiderme abaxial, observaram-se tricomas tectores pluricelulares estrelados, que ocorrem comumente nas nervuras, Figuras 2A, 2B e 2C, e tricomas glandulares (Figura 2D).

As análises histoquímicas evidenciaram a presença de compostos fenólicos nas células do mesofilo, lignina nas paredes celulares dos esclereídeos, polissacarídeos neutros no colênquima lacunar, nos ductos secretores e tricomas da região de nervura principal e também no mesofilo foliar, mucilagem nos ductos secretores, tricomas glandulares, células epidérmicas e mesofilo foliar (Tabela 1).

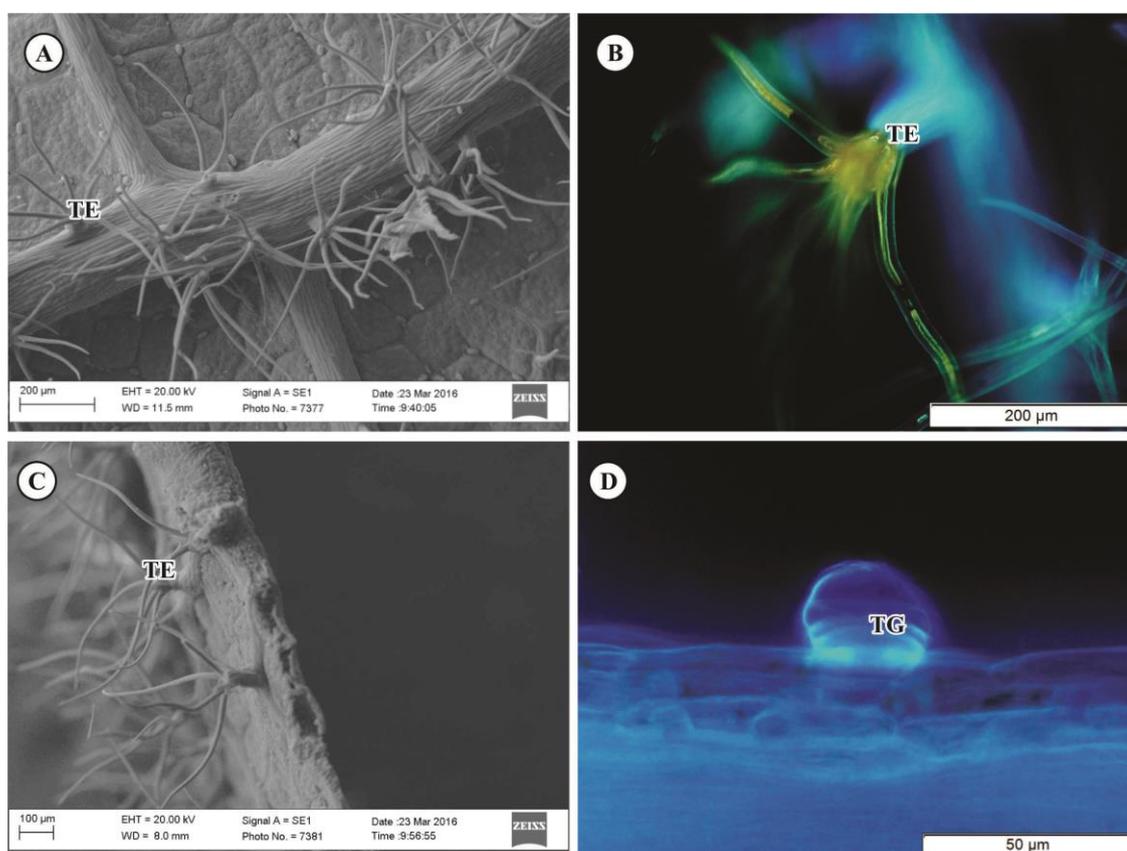


FIGURA 2- Epiderme abaxial: A e C- TE-tricoma estrelado por varredura; B- TE- tricoma estrelado por fluorescência; D- TG- tricoma glandular por fluorescência.

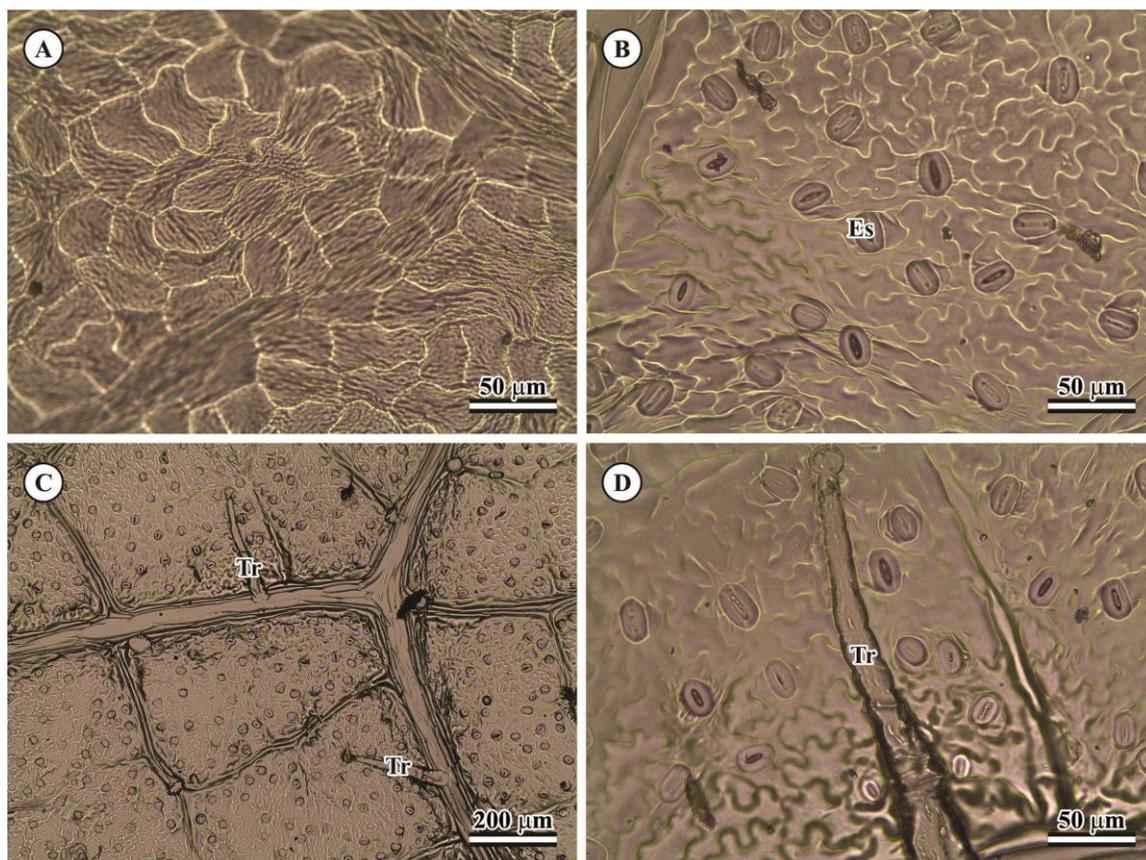


FIGURA 3- Epiderme foliar por impressão de epiderme: A- estrias da cera epicuticular; B- Es-estômato anomocíticos; C e D- Tr- tricomas tectores.

Caule

O caule de *Sterculia striata* apresenta estrutura secundária, revestido externamente pelo súber (Figura 5A). Subjacente ao súber, encontra-se a feloderme, com duas a três camadas de células retangulares, Figura 5C, com conteúdo fenólico, identificado em coloração verde com Azul de Toluidina (Figura 5A). Observa-se presença de parênquima cortical, com braquiesclereídeos, de amido de reserva e de drusas (Figura 4B). O floema secundário é interno e o xilema secundário é externo e envolto por raios de células parenquimáticas e se verifica o câmbio vascular.

As análises histoquímicas permitiram detectar presença de proteínas no súber, compostos fenólicos e proteínas no parênquima cortical, lignina nas paredes celulares dos esclereídeos e mucilagem nos ductos e idioblastos, presentes na região cortical do caule (Figuras 5A-D; Tabela 1).

Raiz

A raiz de *Sterculia striata* apresenta estrutura secundária com periderme e felogênio. Na região cortical (córtex), foram observadas células parenquimáticas com idioblastos mucilaginosos, com compostos fenólicos, Figuras 4C-F, e drusas. No córtex, há presença de ductos com conteúdo mucilaginoso e de grupos de traqueídes dispersos. Subjacente ao córtex, Figuras 4C-F, encontra-se parênquima de reserva amilífero com ocorrência de ductos mucilaginosos. O floema secundário é externo e o xilema secundário é interno, com células parenquimáticas formando raios e com conteúdo de reserva (Figuras 4C e 4D). O câmbio vascular está presente entre os dois tecidos vasculares (Figura 4A). No centro da raiz, observa-se o parênquima medular.

As análises histoquímicas permitiram detectar a presença de mucilagem e proteínas nos ductos encontrados no córtex da raiz, proteínas e lipídios na periderme e proteínas no parênquima cortical e medular (Figuras 5E e 5F ; Tabela 1).

TABELA 1 – Constituintes químicos das folhas, caules e raízes investigados de *Sterculia striata*, reagentes histoquímicos utilizados e resultados obtidos.

Constituintes investigados	Reagente utilizado	Reação
Folha		
Mucilagem	Azul de toluidina	Mesofilo foliar, tricomas, glandulares, ductos e células epidérmicas +
Compostos fenólicos	Dicromato de potássio	Mesofilo foliar +
Paredes lignificadas	Floroglucinol	Esclereídeos +
Polissacarídeos neutros	P.A.S.	Colênquima, ductos e tricomas glandulares e mesofilo foliar +
Substâncias lipofílicas	Vermelho neutro	-
Proteínas solúveis	XP	-
Caule		
Mucilagem	Azul de toluidina	Ductos e idioblastos
Compostos fenólicos	Dicromato de potássio	Parênquima cortical
Paredes lignificadas	Floroglucinol	Esclereídeos
Polissacarídeos neutros	P.A.S.	-
Substâncias lipofílicas	Vermelho neutro	-
Proteínas solúveis	XP	Súber e parênquima cortical
Raiz		
Mucilagem	Azul de toluidina	Ductos +
Compostos fenólicos	Dicromato de potássio	-
Paredes lignificadas	Floroglucinol	-
Polissacarídeos neutros	P.A.S.	-
Substâncias lipofílicas	Vermelho neutro	Periderme +
Proteínas solúveis	XP	Parênquimas cortical e medular +

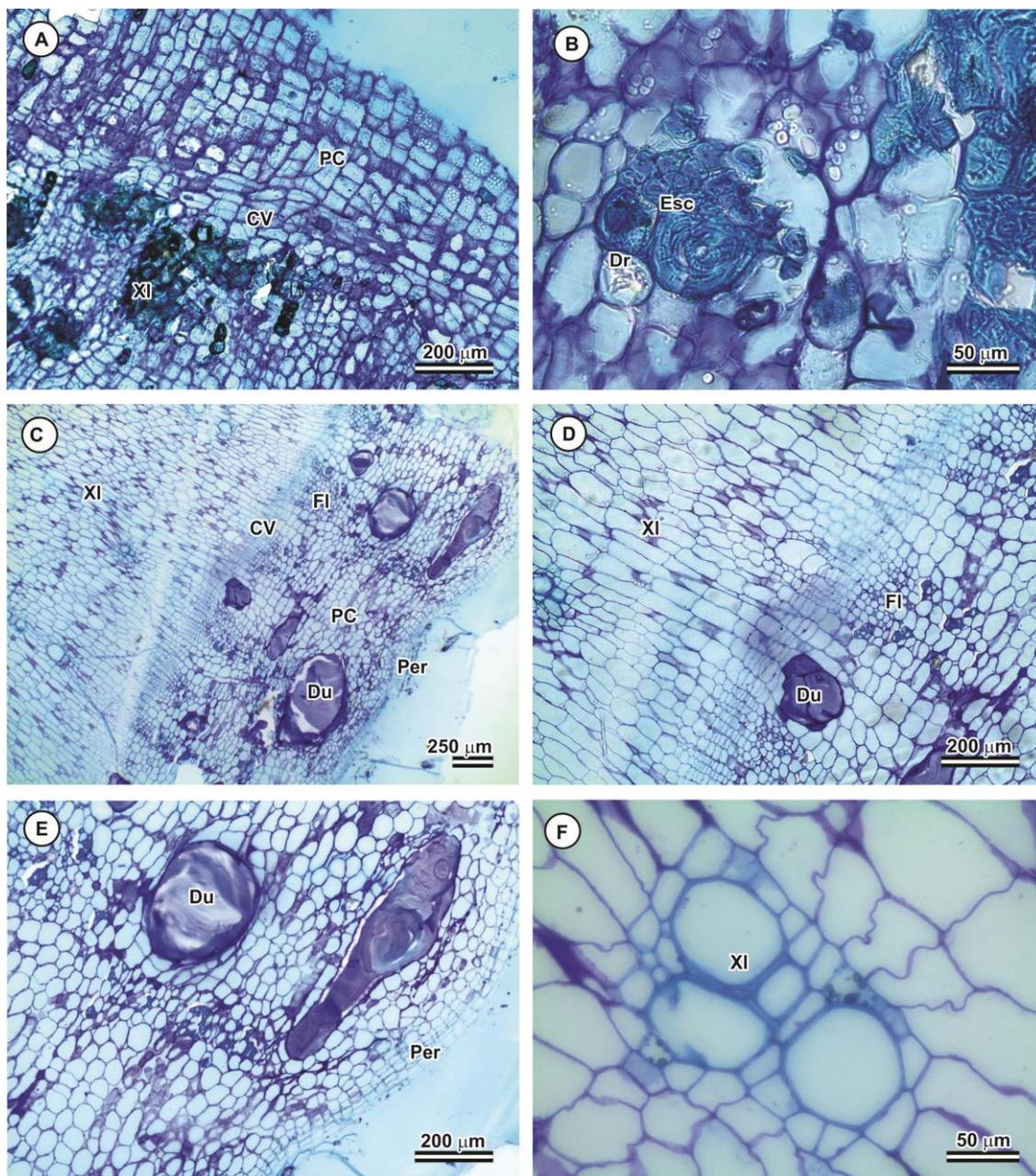


FIGURA 4- Caule e raiz. Caule A-B. A- PC – parênquima cortical, CV – câmbio vascular; XI – xilema secundário; Dr – drusa; Esc – esclereídeos. Raiz C-F. XI – xilema; CV – câmbio vascular; PC – parênquima cortical; Fl – floema secundário; Du – ducto mucilaginoso; Per – periderme.

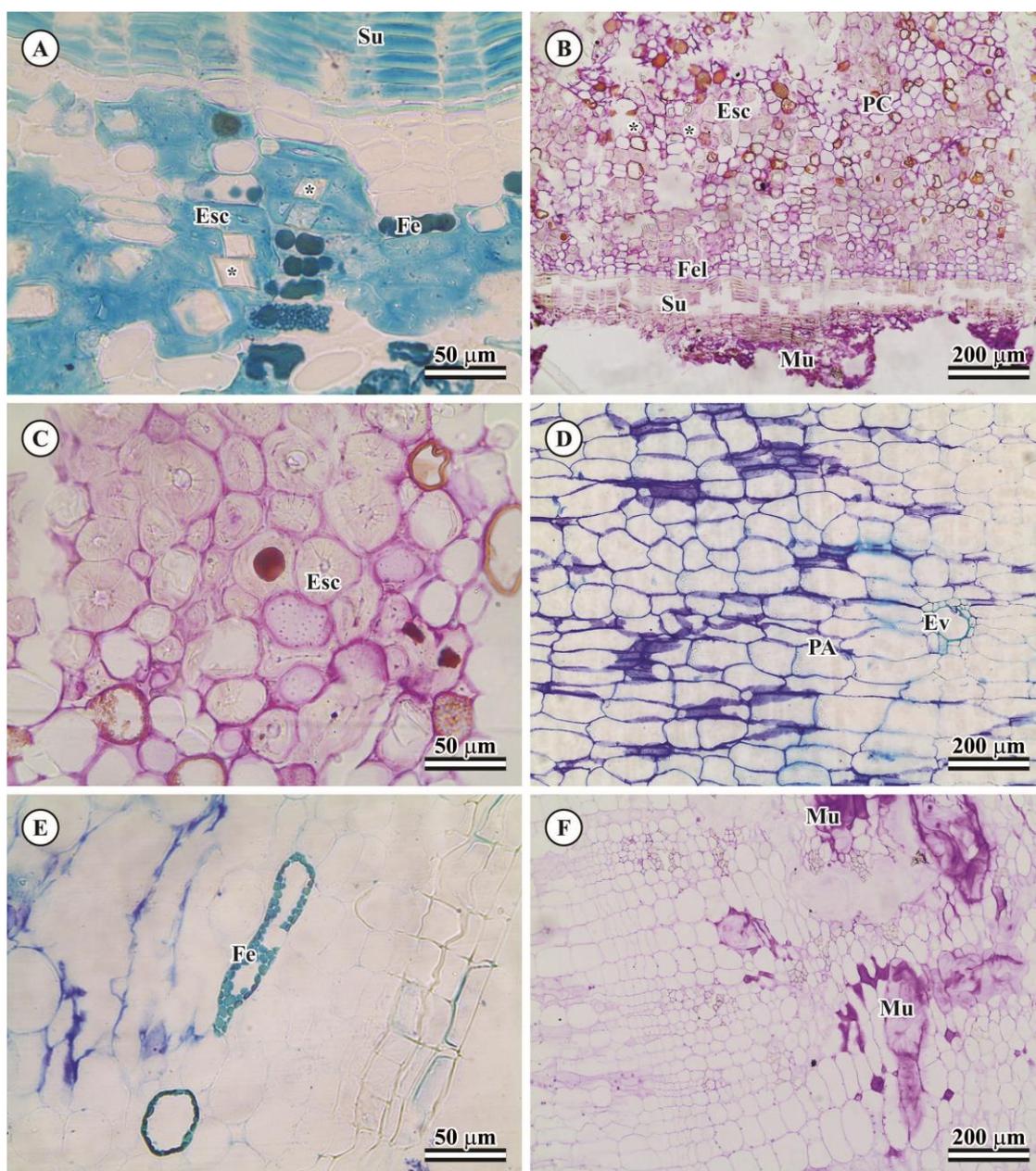


FIGURA 5- Caule e raiz. Caule A-D. A- Su-súber, Esc-esclereídeo, Fe- composto fenólico; B- Esc-esclereídeo, PC- parênquima do córtex, Fel- feloderme, Mu-mucilagem; C- Esc- esclereídeo; D- PA-parênquima, Ev-elemento de vaso; Raiz. E-F. E- Fe-feloderme; F- MU-mucilagem.

DISCUSSÃO

Tricomas tectores pluricelulares estrelados, idioblastos, ductos mucilaginosos e a predominância de estômatos anomocíticos são estruturas anatômicas típicas da família Malvaceae (Metcalf e Chalk, 1950; Bakker e Baas, 1993) que também foram observadas nas folhas de *Sterculia striata*.

S. striata apresenta tricomas tectores e glandulares na superfície de suas folhas. Os tricomas são apêndices epidérmicos que variam em tamanho e formas, compreendendo tricomas tectores e tricomas glandulares (Dickison, 2000). Os tricomas tectores atuam na proteção contra a herbivoria, na redução da perda excessiva de água pela transpiração, pois refletem os raios solares que atingem a superfície foliar (Fahn e Cutler, 1992; Larcher, 2004), assim constituem uma adaptação xeromórfica às espécies nativas do Cerrado. Por outro lado, os tricomas glandulares sintetizam constituintes químicos de natureza variada, com efeitos inseticidas e repelentes, conferindo resistência às espécies, bem como inibe a herbivoria e a oviposição (Peter e Shanower, 1998).

As ceras epicuticulares são constituídas por várias camadas de cutinas depositadas de forma entrecruzada sobre a cutícula, formando cristais ou placas de diversos tamanhos (Heredia et al., 1998). A presença de ceras epicuticulares, como as encontradas em *S. striata*, e tricomas foliares são caracteres anatômicos adaptativos que protegem as folhas das altas temperaturas e da radiação, em razão da alta luminosidade que prevalece no bioma Cerrado (Bieras e Sajo, 2009). A síntese da cera epicuticular é induzida pela alta intensidade luminosa dos raios ultravioletas (Larcher, 2004) e constitui uma barreira protetora, entre as células epidérmicas das folhas e o ambiente, contra perdas excessivas de água pela transpiração, ação de patógenos e herbívoros, radiação solar exacerbada e entrada de agentes contaminantes (Heredia et al., 1998; Larcher, 2004).

A ocorrência de idioblastos, cavidades e ductos contendo mucilagem, é comum nas espécies das famílias Bombacaceae, Sterculiaceae, Malvaceae e Tiliaceae (Bakker e Baas, 1993). Metcalfe e Chalk (1950) reportam que ductos mucilaginosos são típicos da família Malvaceae, assim como a distribuição e o número destes ductos podem ser de valor taxonômico para a família. Ainda conforme a família, os ductos mucilaginosos podem conter cristais, como as drusas e as ráfides (Dickison, 2000).

Ocorrência de compostos fenólicos na secreção foi observada em células parenquimáticas das folhas de *H. pernambucensis* (Rocha et al., 2011), *Theobroma*

speciosum (Dardengo et al., 2017), *Peltaea polymorpha* e *Eriotheca pubescens* (Rossatto et al., 2015), bem em como de *S. striata*. Ductos mucilaginosos foram encontrados na região de nervura principal das folhas de *Hibiscus pernambucensis* (Rocha et al., 2011), de *Mortoniendron guatemalense* (Solis-Monteiro et al., 2013), *Peltaea polymorpha* e de *Eriotheca pubescens* (Rossatto et al., 2015). Rocha et al. (2011) observaram que, em *H. pernambucensis*, esses ductos também eram circulares e sintetizavam mucilagens, com composição predominante de polissacarídeos ácidos e neutros e compostos fenólicos. Conforme Dickinson (2000), os polissacarídeos são os principais constituintes das mucilagens secretadas pelos ductos. Estas informações corroboram os estudos desenvolvidos para *Sterculia striata*, em que, pelo teste histoquímico com o reagente de Schiff/PAS, foi visualizado a ocorrência de polissacarídeos na mucilagem de seus ductos.

As mucilagens, compostos fenólicos e cristais de oxalato de cálcio, constituem substâncias do metabolismo secundário. Tais metabólitos são secretados, acumulados e eliminados em células especializadas, que podem ser isoladas, como os idioblastos, ou então, agrupadas, constituindo estruturas diferenciadas, como os tricomas e os ductos, por exemplo (Fahn, 1979; Dickison, 2000).

A presença de mucilagens no interior dos órgãos vegetais pode atuar no armazenamento de água e carboidratos, no balanço hídrico e na resistência contra a seca (Rocha et al., 2011). As análises histoquímicas feitas nesta pesquisa mostraram presença de polissacarídeos neutros e fenólicos na mucilagem dos ductos e idioblastos de *S. striata*, condizendo com os dados de Rocha et al. (2011). Os compostos fenólicos são metabólitos secundários associados como protetores contra a incidência de raios ultravioletas, atuando como filtros ou antioxidantes em folhas principalmente (Bieza e Lois, 2001), além de exercerem proteção contra patógenos e herbívoros. Os cristais de oxalato de cálcio servem para proteger as folhas ou demais órgãos vegetais contra a herbivoria e também para regular o estoque interno de cálcio, livrando a planta da toxicidade do ácido oxálico, bem como para manter o balanço iônico e osmótico dos tecidos durante os processos de entrada e saída de água (Kostman e Franceschi, 2000; Ghanem et al., 2010; Somavilla et al., 2014).

As folhas de *S. striata* apresentam características anatômicas comumente encontradas em espécies nativas do Cerrado, conforme Bieras e Sajo (2009) e Somavilla et al (2014), tais como: (1) epidermes com grande densidade de tricomas, (2) estômatos ocorrendo apenas na epiderme abaxial, (3) estômatos anomocíticos ou paracíticos, (4)

predominância do mesofilo dorsiventral ocupado por, aproximadamente, 50% pelo parênquima paliçádico, (5) idioblastos contendo compostos fenólicos e (6) idioblastos com cristais de oxalato de cálcio.

Caule e raiz de *S. striata* apresentam crescimento secundário em tempo médio de 365 dias do desenvolvimento e crescimento vegetal. Espécies arbóreas desenvolvem o meristema lateral, que resulta em crescimento radial, sendo responsável pela contínua expansão em largura nos caules e raízes (Dickinson, 2000). Este crescimento secundário dos caules e raízes pode constituir caracteres taxonômicos (Basconsuelo et al., 2011). Foi observada presença de idioblastos e de ductos mucilaginosos na casca do caule e da raiz em *S. striata*, similares aos reportados também na mesma região da raiz de *H. pernambucensis* por Rocha et al. (2011), ambas as espécies são da família Malvaceae. Assim, pôde-se verificar que a ocorrência destas estruturas pode ser uma característica comum em espécies da família e fazer parte da taxonomia do grupo.

Nas plantas, as folhas não são os únicos órgãos que estão sob influência da alta luminosidade. Plantas que se desenvolvem sob alta luminosidade apresentam maior capacidade para estocar carboidratos e outros constituintes em seus caules e raízes (Calzavara et al., 2015). Assim, outra característica a ser considerada em *S. striata* é que a presença de mucilagens e compostos fenólicos pode constituir uma defesa e uma adaptação da espécie ao ambiente xerofítico em que a espécie se desenvolve.

As análises anatômicas e histoquímicas das folhas, caules e raízes de *Sterculia striata* mostram que a espécie apresenta estruturas internas que a tornam adaptada às condições xeromórficas do ambiente e que estas estruturas remetem às de outras espécies da família Malvaceae já estudadas. As folhas de *S. striata* são utilizadas na medicina popular para tratamentos de erupções dérmicas (Agra et al., 2007). Atividade anti-inflamatória foi comprovada no extrato etanólico da casca de *S. striata* por Silva et al. (2014), o que mostra o potencial medicinal da espécie, possivelmente pelos metabólitos secundários evidenciados nesta pesquisa.

.CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa são essenciais para a descrição dos órgãos vegetativos de *Sterculia striata* e podem ser importantes para a taxonomia da família Malvaceae, gênero *Sterculia*.

As folhas, caules e raízes de *S. striata* apresentam características xeromórficas, típicas de espécies nativas do Cerrado, tais como ceras epicuticulares, folhas

hipostomáticas, tricomas tectores e glandulares, ductos secretores de mucilagem e idioblastos com cristais de oxalato de cálcio contendo compostos fenólicos. Os ductos secretores de mucilagem na nervura principal das folhas e os tricomas pluricelulares tectores estrelados são característicos da família Malvaceae e podem auxiliar na identificação desta espécie dentro de sua família taxonômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, M.F.; FREITAS, P.F.; BARBOSA-FILHO, J.M. Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. 17: 114–140. 2007.

BAKKER, M.E.; BAAS, P. Cells walls and mucilage cells. **Acta Botanica Neerlandesa**. 42: 133-139. 1993.

BASCONSUELO, S.; GROSSO, M.; MOLINA, M.G.; MALPASSI, R.; KRAUS, T.; BIANCO, C. Comparative root anatomy of papilionoid legumes. *Flora*. 799-807. 2011.

BIERAS, A.C.; SAJO, M.G. Leaf structure of the Cerrado (Brazilian savanna) woody plants. **Trees**. 23: 451-471. 2009.

BIEZA, K.; LOIS, R. An *Arabidopsis* mutant tolerant to lethal ultraviolet-B levels shows constitutively elevated accumulation of flavonoids and other phenolics. **Plant Physiology**. 126: 1105-1115. 2001.

CALZAVARA, A.K.; BIANCHINI, E.; MAZZANATTI, T.; OLIVEIRA, H.C.; STOLF-MOREIRA, R.; PIMENTA, J.A. Morphoanatomy and ecophysiology of tree seedling in semideciduous forest during high-light acclimation in nursery. **Photosynthetica**. 53(4): 597-608. 2015.

DARDENGO, J.F.E.; ROSSI, A.A.B.; SILVA, I.V.; PESSOA, M.J.G.; SILVA, C.J. Análise da influência luminosa nos aspectos anatômicos de folhas de *Theobroma speciosum* Willd ex Spreng. (Malvaceae). **Ciência Florestal**. 27(3): 843-851. 2017.

DICKINSON, W.C. **Integrative Plant Anatomy**. Academic Press: New York. 2000.
FAHN, A.; CUTLER, D.F. **Xerophytes**. Gebrüder Borntraeger, Berlin. 1992.
GABE, M. **Techniques histologiques**. Masson et Cie, Paris. 1968.

GHANEM, M.E.; HAN, R-M; CLASSEN, B.; QUETIN-LECLERQ, A.; MAHY, G.; RUAN, C-J.; QIN, P.; PEREZ-ALFOCEA, F.; LUTTS, S. Mucilage and polysaccharides in the halophyte plant species *Kosteletzkya virginica*: localization and composition in relation to salt stress. **Journal of Plant Physiology**. 167:382–392. 2010.

HEREDIA, A.; CASADO, C.G.; LAGUNA, L.; REINA, J.J.; SERRANO, J.M.; DOMÍNGUEZ, E. La cutícula vegetal: estructura y funciones. **Ecologia**. 12: 293-305. 1998.

JOHANSEN, D. **Plant microtechnique**. McGraw-Hill, New York.1940.

KARNOVSKY, M.J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**. 27:137-8A, 1965.

KIRK, P.W. Neutral red as a lipid fluorochrome. **Stain technology**. 45: 1-4. 1975.

KOSTMAN, T.A.; FRANCESCHI, V.R. Cell and calcium oxalate crystal growth is coordinated to achieve high-capacity calcium regulation in plants. **Protoplasma**. 214:166–179. 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. RiMa, São Carlos. 2004.

McMANUS, J. F. A. Histological and histochemical uses of periodic acid. **Stain Technology**. v. 23, p. 99-108, 1948.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. Anatomy of dicotyledons. Oxford, Clarendon Press. V. 1. 1950. 1500 pp.

MORI, E.S.; PINA-RODRIGUES, F.C.M.; FREITAS, N.P. **Sementes florestais- guia para germinação de 100 espécies nativas**. Org.: Martins, R.B. 1ª edição. Instituto Refloresta. São Paulo-SP. 2012. 83p

O'BRIEN, T.P., FEDER, N., MCCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by Toluidine Blue O. **Protoplasma**. 59, 368–373. 1964.

PETER, A.J.; SHANOWER, T.G. Plant Glandular Trichomes: Chemical Factories with Many Potential Uses. **Ressonance**. 41-45. 1998.

PIZZOLATO, T.D.; LILLIE, R.D. Mayer's tannic acid-ferric chloride stain for mucins. **Journal of histochemistry and citochemistry**. 21: 56-64. 1975.

ROCHA, J.F.; PIMENTEL, R.R.; MACHADO, S.R. Estruturas secretoras de mucilagem em *Hibiscus pernambucensis* Arruda (Malvaceae): distribuição,

caracterização morfoanatômica e histoquímica. **Acta Botanica Brasilica**. 25(4): 751-763. 2011.

ROSSATTO, D.R.; KOLB, R.M.; FRANCO, A.C. Leaf anatomy is associated with the type of growth form in Neotropical savanna plants. **Botany**. 93: 507–518. 2015.

SEGATTO, F.B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L.C.; RAMPELOTTO, M.V.; NICOLOSO, F.T. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**. 34(5): 1597-1601. 2004.

SILVA D.B., SILVA J.A., JUNQUEIRA N.T.V., ANDRADE L.R.M. **Frutas do cerrado**. Brasília: Embrapa; 2001.

SILVA, F.V.; OLIVEIRA, I.S.; FIGUEIREDO, K A.; MELO JÚNIOR, F.B.; COSTA, D.A.; CHAVES, M.H.; AMARAL, M.P.M.; ALMEIDA, F.R.C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA, R.C.M. Anti-Inflammatory and Antinociceptive Effects of *Sterculia striata* A. St.-Hil. et Naudin (Malvaceae) on Rodents. **Journal of Medicinal Food**. 17(6): 694-700. 2014.

SOMAVILLA, N.S.; KOLB, R.M.; ROSSATTO, D.R. Leaf anatomical traits corroborate the leaf economic spectrum: a case study with deciduous forest tree species. **Brazilian Journal of Botany**. 37(1):69–82. 2014.

VIDAL, B. C. Dichroism in collagen bundles stained with *Xylidine ponceau 2 R*. **Annals of Histochemical**. 15: 289-296. 1970

CAPÍTULO II

HIGROSCOPICIDADE DE SEMENTES DE *Sterculia striata* A. St-Hil et Naudin

(Normas de acordo com a Revista Ciência e Agrotecnologia)

RESUMO

A *Sterculia striata* A. St-Hil et Naudin é uma espécie pioneira pertencente à família Malvaceae, típica do cerrado brasileiro, com dispersão zoocórica e com sementes de caráter ortodoxo. A carência de informações sobre o desempenho das sementes nativas durante o armazenamento dificulta o estabelecimento de protocolos para a conservação de grande parte das sementes. Objetivou-se, nesse estudo, determinar as isotermas de dessecção, ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e utilizá-los para determinação do calor isostérico de dessecção para a espécie. Após coleta dos frutos maduros e beneficiamento das sementes, elas (16,4% b.s.) foram submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 75 °C até atingirem os teores de água de 14,5; 12,1; 9,7 e 7,7 % (b.s.). A higroscopicidade foi determinada pelo método estático indireto para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C. As isotermas obtidas para sementes de *S. striata* têm formato sigmoideal, padrão para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas. O teor de água de equilíbrio de sementes foi diretamente proporcional à atividade de água e inversamente proporcional à temperatura. O modelo

de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de *S. striata*.

Termos para indexação: atividade de água, chichá , isotermas de dessorção, modelo matemático.

HYGROSCOPICITY OF *Sterculia striata* A. St. Hil et Naudin SEEDS

(Standards according to the Science and Agrotechnology Magazine)

ABSTRACT

Sterculia striata A. St. Hil et Naudin is a pioneer species from the *Malvaceae* family, typical of Cerrado (Brazilian savannah), with zoochory dispersion and orthodox seeds. Lack of information about the native seeds performance during storage hampers the establishment of protocols for the conservation of a large number of seeds. This study aimed to define the desorption isotherms, adjusting different mathematical models to experimental data and using them to define the desorption isosteric heat for the species. After harvesting the ripe fruits and processing the seeds with a moisture content of 16.4% d.b., they were dried in an oven using forced air ventilation at 75°C until reaching moisture levels of 14.5, 12.1; 7.7; and 9.7% (d.b.). Hygroscopicity was determined using the static indirect method considering temperatures of 10, 20, 30, and 40°C. The isotherms obtained for the *S. striata* seeds is a sigmoid shaped, which is the standard for the hygroscopic balance of agricultural products. The seed moisture content balance was directly proportional to water activity and inversely proportional to the temperature. The Chung-Pfost's model was the best to represent the hygroscopicity of the *S. striata* seeds.

Keywords: Water activity. Chichá. Desorption isotherms. Mathematical model.

INTRODUÇÃO

O segundo maior bioma do Brasil é o Cerrado, com 204 milhões de hectares, compreendendo, aproximadamente, 25% do território nacional. Apresenta grande diversificação faunística e florística em suas diferentes fisionomias vegetais (GOEDERT, WAGNER e BARCELLOS, 2008).

A *Sterculia striata* A. St-Hil et Naudin é uma espécie pioneira, pertencente à família Malvaceae, típica do cerrado brasileiro, com dispersão zoocórica e com sementes de caráter ortodoxo (MORI et al., 2012). Conforme Lorenzi (2002), sua área de ocorrência abrange a região amazônica até o Piauí, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo, na floresta semidecídua e sua transição para o Cerrado.

Diversas espécies nativas ainda são pouco conhecidas e apresentam potencialidades para o mercado de amêndoas, podendo-se destacar, entre elas, *S. striata*, boa fonte proteica, energética e de sabor agradável (ARAÚJO, 2004).

Na alimentação, pode ser considerada uma noz “light”, pois apresenta baixo teor de óleo, quando comparada a outras consumidas comumente no mercado, apresentando, assim, bom potencial para inserção nos mercados nacional e internacional (MATA, FROTA e ALVES, 2010).

Na biomedicina, Eiras et al., (2007) apontaram o potencial da espécie para produção de filmes finos polissacarídicos a serem usados sobre superfícies sólidas de sensores e biossensores. Em nova pesquisa, Eiras et al. (2010) corroboram tal resultado, além de apontar a espécie para a manipulação em nanoescala de novos polímeros naturais, o que permite uma variedade de novas oportunidades para o uso desses materiais em dispositivos biomédicos e analíticos avançados.

De acordo com Silva et al. (2011), o armazenamento de sementes de espécies florestais é um fator importante para a conservação de germoplasma de populações e produção de mudas em diferentes épocas do ano. A carência de informações sobre o desempenho de sementes nativas durante o armazenamento dificulta o estabelecimento de protocolos para a conservação de grande parte delas. A esse respeito, há necessidade de aprimorar as técnicas referentes à avaliação da qualidade de sementes das espécies florestais nativas para que o processo de armazenamento e de propagação seja feito com sucesso (MASETTO et al., 2008).

As condições de umidade relativa e temperatura durante o armazenamento, em que os produtos alcançarão o equilíbrio higroscópico específico, interferem nas condições da semente, determinando a duração da sua qualidade fisiológica por maior ou menor período de tempo. Esses dois fatores são primordiais e seu estudo em sementes nativas florestais tem sido intensificado nos últimos anos (BORGES et al., 2009).

O comportamento higroscópico de diversos produtos vegetais como *Anacardium humile* (BARBOSA et al., 2016), *Salvia hispânica* (VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ et al., 2015), *Jatropha curcas* (CHAVES et al., 2015), *Raphanus sativus* (SOUSA et al., 2013), *Crambe abyssinica* (COSTA, RESENDE, OLIVEIRA, 2013), *Bertholletia excelsa* (CHISTÉ, LOPES e PENA., 2012) e *Abelmoschus esculentus* (GONELI et al., 2010) vem sendo estudado bem como seus modelos matemáticos, que descrevem o comportamento dos produtos em determinados teores de água de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar.

Diante do exposto, objetivou-se, nesse estudo, determinar as isotermas de dessecção de sementes de *S. striata* para diversas condições de temperatura e atividades

de água, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e utilizá-los para determinação do calor isostérico de dessecção para a espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais e Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. A coleta foi feita manualmente, em outubro de 2015, na zona rural da cidade de Itapuranga – GO, de 25 plantas matrizes, conforme as coordenadas geográficas 15°42'617"S, 50°10'665"W; 15°37'268"S, 50°2'658"W; 15°39'871"S, 50°4'100"W; 15°37'579"S, 50°14'062"W; 15°42'736"S, 50°11'473"W; 15°44'020"S, 50°11'064"W e 15°46'503"S, 50°08'446"W. Os frutos foram colhidos maduros, estágio identificado pela coloração totalmente vermelha ou ainda quando parcialmente vermelhos e com linha de deiscência protuberante. Em seguida, foram encaminhados ao Laboratório de Sementes e, após abertura de frutos, retirada das sementes, homogeneização e prévia seleção manual, elas foram encaminhadas ao Laboratório de Pós-Colheita. As sementes intactas de *S. striata* à (16,4% b.s.) foram submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 75 °C até atingir os teores de água de 14,5; 12,1; 9,7 e 7,7 % (b.s.), determinados em estufa a 105 ± 1 °C, durante 24 horas, em duas repetições (BRASIL, 2009), sendo o controle feito por gravimetria. A temperatura de secagem de 75 °C foi utilizada para se obter até o menor teor de água.

Para a determinação das isotermas de dessecção, utilizou-se o método estático indireto, sendo a atividade de água (a_w) determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw 1. Foi colocada no recipiente do aparelho uma amostra de cada teor de água de aproximadamente 39±2 g, posteriormente, acondicionada em B.O.D,

regulada a 10, 20, 30 e 40 °C. Após a estabilização da temperatura e a atividade de água, foi feita a leitura.

Os dados experimentais da atividade de água foram ajustados aos modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos vegetais, cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = [(a \cdot b \cdot a_w) / (1 - (c \cdot a_w) \cdot (1 + (b - c) \cdot a_w))]$	BET Modificado	(1)
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung- Pfast	(2)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(3)
$X_e = (a \cdot b \cdot c \cdot a_w) / [(1 - c \cdot a_w) \cdot (1 - c \cdot a_w + b \cdot c \cdot a_w)]$	Gab	(4)
$X_e = \frac{-a}{\ln(a_w) + b}$	Khun	(5)
$X_e = (a + b \cdot T) \cdot (c \cdot \exp(a_w))^c$	Oswin Modificado	(6)
$X_e = (a + b \cdot T) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	Oswin	(7)
$X_e = [(a \cdot a_w^b) + (c \cdot a_w^d)]$	Peleg	(8)
$X_e = a \cdot (a_w^{b/T^c})$	Sabbah	(9)
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	()
$X_e = a - (b \cdot T) - c \cdot \ln(1 - a_w)$	Smith	()
$X_e = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{1/c}$	Halsey Modificado	()

X_e : teor de água de equilíbrio, % b.s.; a_w : atividade de água de equilíbrio, decimal; T: temperatura, °C; a, b, c e d: coeficientes que dependem do produto.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi feita análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo, foram considerados a significância do coeficiente de regressão pelo teste t, adotando o nível de 5% de probabilidade, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE) e o teste de Qui-quadrado (χ^2) ao nível de significância de 1%, e o intervalo de confiança a 99 % ($P < 0,01$). Considerou-se o valor do erro médio relativo 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 modelo foram calculados conforme as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad \chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (13)$$

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).

O calor latente de vaporização da água livre (kJ/kg) (L') e a temperatura de equilíbrio ($^{\circ}\text{C}$) foram calculados utilizando a temperatura média (T) na faixa em estudo, em $^{\circ}\text{C}$, por meio da seguinte equação:

$$L' = 2502,2 - 2,39.T \quad (14)$$

Para o cálculo do calor isotérico líquido de sorção (ou entalpia diferencial) para cada teor de água de equilíbrio, foi utilizada a equação Clausius-Clayperon (Iglesias e Chirife, 1976):

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{RT_a^2} \quad (15)$$

T_a : temperatura absoluta, K; Δh_{st} : entalpia diferencial, 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 Eq. 15 e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, podemos encontrar o calor isostérico líquido de sorção para cada teor de água de equilíbrio, conforme a Eq. 16 (Wang e Brennan, 1991):

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{\Delta h_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (16)$$

C: coeficiente do modelo.

Os valores de atividade de água, temperatura e teor de água de equilíbrio foram obtidos pelas isotermas de dessorção utilizando o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais. O calor isostérico integral de sorção foi obtido adicionando, aos valores de calor isostérico líquido de sorção, o valor do calor latente de vaporização da água pura de acordo com a Eq. 16, e o valor de calor latente de vaporização da água pura (L), em kJ kg^{-1} , necessário ao cálculo de Q_{st} , foi obtido utilizando a Eq.14:

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L = a \cdot \exp(-b \cdot X e^*) + L \quad (17)$$

Q_{st} : calor isostérico integral de sorção, kJ kg^{-1} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos teores de água de equilíbrio higroscópico, obtidos por dessorção, para as diferentes atividades de água e temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

TABELA 2. Valores médios da atividade de água (decimal) das sementes de *S. striata*, obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e do teor de água de equilíbrio (decimal b.s.) (Rio Verde – GO, 2016).

Temperatura (°C)	Teor de água (% b.s.)				
	16,43	14,40	12,10	9,66	7,15
10	0,87	0,64	0,58	0,30	0,23
20	0,87	0,74	0,64	0,56	0,33
30	0,85	0,75	0,68	0,59	0,46
40	0,87	0,76	0,68	0,59	0,47

Observa-se que, com a redução dos valores de teor de água de equilíbrio, ocorre diminuição nos valores de atividade de água em uma mesma temperatura. Comportamento semelhante foi verificado por Costa et al. (2015) para sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eicher e por Barbosa et al. (2016) para aquênios de cajuzinho-do-cerrado, espécies também nativas do Cerrado, com as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

Para o mesmo teor de água, com aumento da temperatura, há incremento dos valores da atividade da água para as sementes da espécie, assim como observado em sementes de nabo forrageiro por Sousa et al. (2013), em frutos de crambe (COSTA, RESENDE, OLIVEIRA, 2013) e em sementes de pinhão manso por Oliveira et al. (2014a).

A Tabela 3 mostra os valores do coeficiente de determinação, erro médio relativo, erro médio estimado e do teste de *Qui-quadrado* dos diferentes modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das isotermas de dessorção das sementes de *S. striata*, para as diferentes condições de temperaturas e atividade de água.

TABELA 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de *S. striata*, (R^2) - coeficientes de determinação, (SE) - erro médio estimado, (P) - erro médio relativo, (X) - teste de Qui-quadrado (Rio Verde – GO, 2016).

Modelos	R^2	SE	P	X^2
	%	Decimal	%	Decimal
1	87,21	8,418	6,190	1,501
2	91,59	6,547	4,072	0,988
3	90,66	7,466	4,518	2,794
4	87,21	8,423	6,190	1,501
5	77,60	11,758	10,534	2,483
6	88,58	8,169	5,528	1,341
7	85,75	9,199	6,704	1,580
8	89,38	7,342	5,300	1,325
9	86,00	9,722	6,778	1,644
10	90,59	7,172	4,553	1,104
11	86,40	8,685	6,395	1,507
12	87,53	8,631	6,035	3,732

A maioria dos modelos ajustados apresentou elevados coeficientes de determinação, sendo o valor mais baixo obtido para o modelo de Kuhn (5) (77,60 %) e o maior para o modelo de Chung-Pfost (2) (91,59%). Conforme Madamba et al. (1996), utilizar somente o coeficiente de determinação como critério de avaliação na seleção de modelos não lineares não representa bom parâmetro do fenômeno, fazendo-se necessária uma análise mais criteriosa de outros parâmetros.

Assim, ainda na Tabela 3, pode-se verificar que o modelo de Chun-Pfost (2), Copace(3) e Sigma Copace (10) apresentaram menores valores de erro médio estimado (SE), quando comparado aos demais. Observou-se também que os valores de erro médio relativo (P) foram inferiores a 10%, exceto para o modelo Khun (5), que representou de maneira adequada o fenômeno em estudo.

Em relação ao teste de *Qui*-quadrado, todos os modelos ficaram no intervalo de confiança de 1%, porém o modelo de Chung-Pfost apresentou a menor magnitude entre os demais (0,988), indicando quantitativamente a relação entre o resultado do experimento e a distribuição esperada para o fenômeno.

Quanto aos coeficientes, Tabela 4, observa-se que, para a maioria dos modelos utilizados para descrever a higroscopicidade das sementes de *S. striata*, a significância de regressão encontrada foi de 1% pelo teste t.

TABELA 4. Coeficientes dos modelos ajustados para as diferentes condições de equilíbrio higroscópico para as sementes de *S. striata* (Rio Verde – GO, 2016).

Modelos	a	b	c	d
BET				
Modificado	6,00 **	0,00003 **	1,00 **	-
ChungPfost	26,88 **	4,50 **	39,33 *	-
Copace	1,68 **	0,004 *	1,43 **	-
Gab	6,27 **	2314,79 ^{ns}	0,73 **	-
Khun	1,33 **	8,12 **	-	-
Oswin				
Modificado	10,97 **	-0,039 ^{ns}	3,55 **	-
Oswin	9,98 **	0,28 **	-	-
Peleg	1,071 ^{ns}	-1,18 ^{ns}	19,09 **	1,46 *
Sabah	26,29 **	0,81 **	0,12 *	-
Sigma				
Copace	1,15 **	0,004 *	0,75 **	-
Smith	5,39 **	6,11 **	-	-
Halsey				
Modificado	6,58 **	0,01 ^{ns}	2,92 **	-

^{ns}Não significativo, **Significativo a 1% e *Significativo a 5% pelo Teste t

Observando os parâmetros obtidos para os modelos avaliados nas Tabelas 3 e 4, considerou-se o modelo de Chung-Pfost como o mais recomendado para a predição do equilíbrio higroscópico de sementes de *S. striata*, tendo apresentado o maior

coeficiente de determinação (R^2) e menores valores de erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e qui-quadrado (X^2).

A Figura 1 apresenta os valores experimentais do teor de água de equilíbrio, obtidos por dessorção, bem como as isotermas estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para as sementes de *S. striata*.

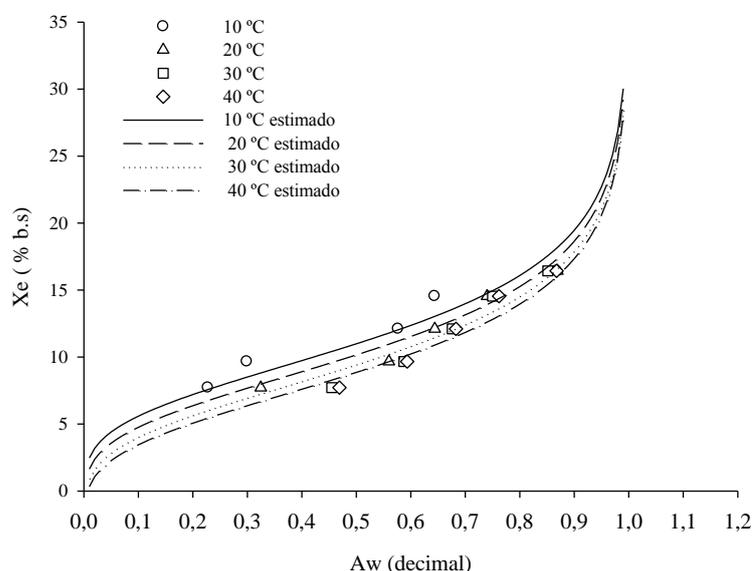


FIGURA 1- Isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost, em diferentes condições de temperatura e atividade de água (Rio Verde – GO, 2016).

Para uma atividade de água constante, os valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de *S. striata* diminuíram com o aumento da temperatura, seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos vegetais como pitanga em pó (VIEIRA et al., 2007), pedúnculo seco de caju (ALCÂNTARA et al., 2009), pimenta malagueta (SILVA e RODOVALHO, 2012) e arroz em casca (OLIVEIRA et al., 2014b).

Caetano et al. (2012) observaram que o modelo de Chung-Pfost foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para sementes de *Capsicum chinense* (SILVA et al., 2015) e para *Caryocar Brasiliense* (SOUSA et al., 2016). As isotermas de

dessorção das sementes de *S. striata* apresentam-se no formato sigmoidal, característico de curvas do tipo II, seguindo a classificação de BET (BRUNAUER, EMMETT e TELLER, 1938), geralmente utilizada para produtos orgânicos como observado por Goneli et al. (2010), Ferreira, Silva e Rodovalho (2011), Smaniotto et al. (2012).

A Figura 2 mostra o calor isostérico integral de dessorção (Qst) em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.) para as sementes de *S. striata*.

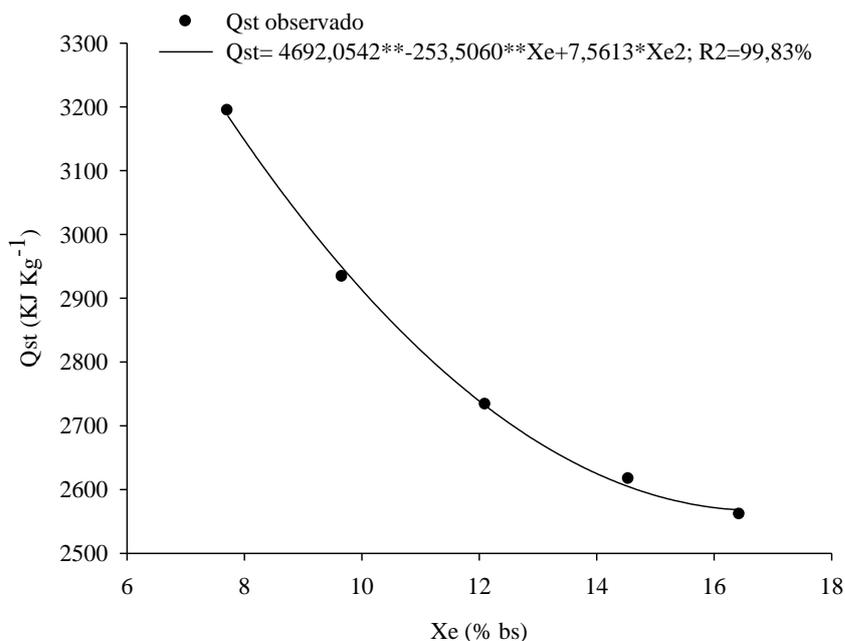


FIGURA 2 – Calor isostérico integral de dessorção para as sementes de *S. striata* em função do teor de água de equilíbrio (Rio Verde – GO, 2016).

O calor isostérico de dessorção de sementes de *S. striata* se reduz com o acréscimo do teor de água (7,15 para 16,49 % b.s.), mostrando aumento de energia necessária para a remoção da água das sementes, com amplitude de valor variando entre 3.193,88 e 2.560,94 kJ Kg⁻¹. Esse comportamento está em consonância com aqueles encontrados por Catelam e Romero (2011) e Barbosa et al. (2016).

Costa et al. (2015) encontraram valores de calor isostérico integral de dessorção para as sementes de boca-boca na faixa do teor de água de equilíbrio de 13,31 a 7,21 (% b.s.), variando de 2.667,93 a 2.819,56 kJ kg⁻¹, para a mesma faixa de temperatura estudada no presente trabalho. E para as sementes de nabo forrageiro, os valores do

calor isostérico integral de dessorção, na faixa de teor de água de 3,33 a 11,30 (% b.s.), variaram de 4.222,70 a 2.870,34 kJ kg⁻¹ (SOUSA et al., 2015).

Para sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, Caetano et al. (2012), na faixa de teores de água entre 1,76 e 6,56 % b.s., obtiveram valores com maiores magnitudes, de 4.586,35 a 2.572,70 kJ kg⁻¹. E para as sementes de pinhão manso, Chaves et al. (2013) encontraram valores na faixa de teor de água de 5,6 a 13,4 % (b.s.), variando de 3.035,61 a 2.631,89 kJ kg⁻¹.

Tal comportamento confirma que, em produtos com maior teor de água, a força de ligação entre as moléculas de água e a matéria seca diminui (AVIARA e AJIBOLA, 2002).

De acordo com Mcminn e Magee (2003), os valores de calor isostérico de dessorção fornecem, para um determinado teor de água, indicação do estado da água que está sorvida no produto, além de servirem como medida da estabilidade física, química e biológica para uma dada condição de armazenamento.

CONCLUSÃO

As isotermas obtidas para sementes de *S. striata* têm formato sigmoidal, padrão para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas.

O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de *S. striata*.

O teor de água de equilíbrio de sementes de *S. striata* foi diretamente proporcional à atividade de água e inversamente proporcional à temperatura para o mesmo valor de atividade de água.

Para sementes de *S. striata*, é necessária uma maior quantidade de energia para retirada da água, já que o calor isostérico aumenta à medida que o teor de água diminui.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, S.R.; ALMEIDA, F.A.C.; SILVA, F.L.H.; GOMES, J.P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.81–87, 2009.

ARAÚJO, E.C.E. chichá (*Steculia striata* St. Hil. et Naud.): uma nova opção para os mercados nacional e internacional de nozes. **Informativo SBF**, Brasília, v.16, n.4, p.13-14, 2004.

AVIARA, N.A.; AJIBOLA, O. O. Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. **Journal of Food Engineering**, London, v. 55, n. 2, p. 107-113, 2002.

BARBOSA, K.F.; SALES, J.DEF.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.DE; ZUCHI, J.; SOUSA, K.A.DE. Desorption isotherms and isosteric heat of 'cajuzinho-do-cerrado' achenes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (On-line), v. 20, p. 481-486, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS. p.399. 2009.

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

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

CATELAM, K.T.; TRINDADE, C.S.F.; ROMERO, J.T. Isotermas de adsorção e calor isostérico de sorção de polpa de maracujá desidratada por spray dryer e liofilizador com aditivos e leite desnatado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1196-1203, 2011.

CHAVES, T.H.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; SMAIOTTO, T.A.S.; SOUSA, K.A. Isotermas e calor isostérico das sementes de pinhão-manso. **Engenharia na Agricultura**, v.23, n.1, 2015.

CHISTÉ, R.C.; LOPES, R.S.; PENA, A.S. Isoterma de adsorção de umidade da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 06, n. 01: p. 671-679, 2012.

CORREA, P.C.; JÚNIOR, P.C.A.; RIBEIRO, D.M.; SILVA, F.S.DA. Equilíbrio higroscópico de milho alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, campina Grande, v. 10, n.1, p.162-167, 2006.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; SOUSA, K.A. Isotherms and isosteric heat in the seeds of *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler. **Revista Ciência Agrônômica** (UFC. Online), v. 46, p. 516-523, 2015.

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, p. 412-418, 2013.

EIRAS, C.; PASSOS, I.N.G.; BRITO, A.C.; SANTOS JÚNIOR, J.R.; ZUCOLOTTI, V.; OLIVEIRA JR, O.N.; KITAGAWA, I.L.; CONSTANTINO, C.J.L.; CUNHA, H.N. **Nanocompostos eletroativos de poli-o-metoxianilina e polissacarídeos naturais**. *Química Nova*, v.30, n.5, p.1158-1162, 2007.

EIRAS, C.; SANTOS, A.C.; ZAMPA, M.F.; BRITO, Q.C.F.DE; CONSTANTINO, C.J.L.; ZUCOLOTTI, V.; SANTOS JÚNIOR, J.R. Natural polysaccharides as active biomaterials in nanostructured films for sensing. **Journal of Biomaterials Science**, 21, 1533-1543, 2010.

FERREIRA, S.C.S.; SILVA, H.W.; RODOVALHO, R.S. Isotermas de dessorção e calor latente de vaporização da semente de pimenta Cumari Amarela (*Capsicum chinense* L.). **Revista Liberato**, v.13, p.1-16, 2011.

GOEDERT, W. T.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. de O. **Savanas Tropicais: Dimensão, Histórico e Perspectivas**. In: _____ Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre Sociedade, Agronegócio e Recursos Naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; NOGUEIRA, B. L.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática do equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca

obtidos pelos métodos estáticos e dinâmico. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v 32, n.2, p.152-160, 2007.

GONELI, A. L. D. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v. 53, n.1, p.191-197, 2010.

IGLESIAS, H.; CHIIRIFE, J. Isosteric heats of water vapour sorption on dehydrated foods. Part II: hysteresis and heat of sorption comparison with BET theory. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, Zurich, v.9, n.1, p.123-127, 1976.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 368p

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, London, v.29, n.1, p. 75-97, 1996.

MASSETO, T.E.; FARIA, J.M.R.; QUEIROZ, S. E.E. Avaliação da qualidade de sementes de cedro (*Cedrela fissilis*) pelo teste de raios X. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.6, p.1708-1712, 2008.

MATA, M.F., FROTA, A.F., ALVES, E.U. Superação da dormência de sementes de *S. striata* (*Sterculia striata* St. Hil. et Naudin.) Malvaceae-Sterculioideae. **Revista Homem, Espaço e Tempo**. Outubro de 2010.

MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 2, p. 155-157, 2003.

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.

MORI, E.S.; PINA-RODRIGUES, F.C.M.; FREITAS, N.P. **Sementes florestais- guia para germinação de 100 espécies nativas**. Org.: Martins, R.B. 1ed. Instituto Refloresta. São Paulo-SP. 2012. 83p.

OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H.; SOUSA, K.A.; SMANIOTTO, T.A.S. Propriedades termodinâmicas das sementes de pinhão-mansão. **Bioscience Journal** (Online), v. 30, p. 147-157, 2014a.

OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.;CAMPOS,R.C.;DONADON,J.R. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca, **Científica**, Jaboticabal, v.42, n.3, p.203–210, 2014b.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; MARTINAZZO, A.P.; RIBEIRO, R.M. Isotermas e calor isostérico de dessecção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v.31, n.1, p.86-94, 2006.

SILVA, H.W.; COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.;SOARES, R.S.; VALE,L.S.R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.19, n.8, p.780–784, 2015.

SILVA, D.G.; CARVALHO, M.L.M. NERY, M.C. OLIVEIRA, L.M. CALDEIRA, C.M. Alterações fisiológicas e bioquímicas durante o armazenamento de sementes de *Tabebuia serratifolia*. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2011.

SILVA, H.W.; RODOVALHO, R.S. Isotermas de dessecção de sementes de pimenta malagueta. **Global Science and Technology**, v.5, p.32-39, 2012.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A. CAMPOS, R. C. Isotermas e calor latente de dessecção dos grãos de milho da cultivar AG 7088. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, p.312-322, 2012.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.216-222, 2013.

Sousa, K. A.; Resende, O.; Goneli, A. L. D.; Smaniotto, T. A. S.; Oliveira, D. E. C. Thermodynamic properties of water desorption of forage turnip seeds. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.37, p.11-19, 2015.

SOUSA, K.A.; RESENDE, O.; CARVALHO, B.S. Determination of desorption isotherms, latent heat and isosteric heat of pequi diaspore. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.5, p.493-498, 2016.

VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ,S.K.;FIGUEIREDO,A.C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M.E.; ROMÁN-GUERRERO, A.; CARRILLO-NAVAS,H.; PÉREZ-ALONSO, C. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.).**Carbohydrate Polymers**, v. 121, p.411–419, 2015.

VIEIRA, A.H.; FIGEIREDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de biologia e Ciências da Terra**, v.7, n. 1, 2007.

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

CAPÍTULO III

AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE SEMENTES DE *Sterculia striata* A. St. Hil et Naudin SUBMETIDAS A ARMAZENAMENTO

(Normas de acordo com a Revista Ciência e Agrotecnologia)

RESUMO

Sterculia striata é uma espécie pioneira com potencialidades que vão desde a recuperação de áreas degradadas, alimentação humana até matéria-prima para dispositivos biomédicos e analíticos avançados. E como acontece com a maioria das espécies nativas, sua produção é irregular e pouco se sabe sobre seu armazenamento e processos de deterioração. Assim, esse trabalho teve por objetivo a avaliação de sementes de *S. striata*, armazenadas sob diferentes condições de temperatura, considerando parâmetros fisiológicos e bioquímicos. Para tanto, utilizou-se de testes de germinação, emergência, envelhecimento acelerado e teor de água para avaliar a qualidade fisiológica e a determinação de substâncias antioxidantes como SOD, CAT, POX, GR, GST E MDA para determinação das alterações bioquímicas que sementes armazenadas por doze meses apresentaram. Nas condições desse estudo, percebeu-se que com o aumento do armazenamento há aumento na perda da qualidade das sementes de chichá. A viabilidade e o vigor das sementes de *S. striata* são mantidos por até nove meses de armazenamento. A redução na atividade enzimática de SOD e CAT é compensada pela ação antioxidante de POX, GR, GST e MDA.

Termos para indexação: enzimas, CAT, armazenamento.

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL EVALUATIONS OF *Sterculia striata***A. St. Hil et Naudin SEEDS SUBMITTED TO STORAGE**

(Standards according to the Science and Agrotechnology Magazine)

ABSTRACT

Sterculia striata is a pioneer species with the potential ranging from the recovery of degraded areas, human foodstuffs, and as a raw material for advanced biomedical and analytical devices. As most native plants, its production is uneven, and little is known about its storage and deterioration processes. This study aimed to evaluate *S. striata* seeds stored under different temperature conditions, based on physiological and biochemical parameters. For this purpose, germination, emergence, accelerated aging, and moisture content tests were carried out to evaluate the physiological quality and to define antioxidant substances such as superoxide dismutase (SOD), Chloramphenicol acetyltransferase (CAT), Proline oxidase (POX), Glutathione reductase (GR), Glutathione S-Transferase (GST), and Malondialdehyde (MDA), aiming to determine the biochemical changes in seeds stored for twelve months. Under this study conditions, it was noticed that increasing the storage, loss of the chichá seed quality increased. *Sterculia striata* seeds viability and vigor are maintained in storage for up to nine months. Reduction in SOD and CAT enzymatic activity is compensated by POX, GR, GST, and MDA antioxidant action.

Keywords: Enzymes. Chloramphenicol acetyltransferase (CAT). Storage.

INTRODUÇÃO

Sterculia striata, conhecida como chichazeiro, é uma planta pioneira, indicada para recuperação de áreas degradadas ou de preservação permanente, com potencial paisagístico, alimentar e na manipulação de novos polímeros naturais biodegradáveis em nanoescala, o que permite uma variedade de novas oportunidades para o uso dessa espécie em dispositivos biomédicos e analíticos avançados (LORENZI, 2002; GOEDERT, WAGNER e BARCELLOS, 2008; EIRAS, et al., 2010).

A produção de sementes de muitas espécies nativas é irregular, assim, o armazenamento facilita sua disponibilidade, além de permitir a conservação e a viabilidade genética. Diferentes fatores, no entanto, influenciam o armazenamento, como teor de água inicial da semente, embalagem, temperatura, umidade relativa do ar, tempo e tipo de armazenamento (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

O envelhecimento natural diminui de maneira progressiva a qualidade fisiológica de sementes, promovendo a deterioração, o que está intimamente relacionado a lesões em nível celular e molecular, à perda da integridade de DNA, de enzimas e de membranas (KIBINZA et al., 2006; SHABAN, 2013; BEWLEY et al., 2013). Tais lesões envolvem reações de caráter hidrolítico, oxidativo e peroxidativo. O estresse oxidativo é significativo nos mecanismos de deterioração de sementes, provocado por estresses bióticos e abióticos pelo desequilíbrio entre a produção e a eliminação das EROs (espécies reativas de oxigênio), produzidas em diferentes partes da célula, e seu efeito depende da concentração, local de produção e interação com outros compostos (GADJEV, 2006; KIM e KWAK, 2010; WALTERS, BALLESTEROS e VERTUCCI, 2010; DEMIDCHIK, 2015).

Um dos mecanismos vegetais para atuar sobre as EROs é promovido pela ação de enzimas antioxidantes, que são substâncias que, mesmo em baixas concentrações, podem inibir ou atrasar os danos da oxidação (ROCHA e ROCHA, 2007). Os principais

agentes antioxidantes em vegetais são o superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT), as peroxidases de fenol (POX), a glutatona redutase (GR) e a glutatona peroxidase (GPX) (BAILLY et al., 2008). Assim, o processo oxidativo pode ser estimado pela quantificação desses agentes ou ainda pela quantificação de subprodutos como aldeído malônico (MDA), resultante da redução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a água pela ação da enzima também antioxidante APX (peroxidase do ascorbato) (MITTLER, 2002).

Assim, esse trabalho teve por objetivo a avaliação de sementes de *S. striata*, armazenadas sob diferentes condições de temperatura, considerando parâmetros fisiológicos e bioquímicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de *Sterculia striata* foram coletados maduros, identificados pela coloração totalmente avermelhada ou parcialmente vermelhos com linha de deiscência protuberante. A coleta foi feita manualmente de 25 plantas matrizes, conforme as coordenadas geográficas 15°42'617"S, 50°10'665"W; 15°37'268"S, 50°2'658"W; 15°39'871"S, 50°4'100"W; 15°37'579"S, 50°14'062"W; 15°42'736"S, 50°11'473"W; 15°44'020"S, 50°11'064"W e 15°46'503"S, 50°08'446"W, localizadas na zona rural no município de Itapuranga, Goiás, Brasil, em outubro de 2015.

Após a coleta, os frutos foram beneficiados no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde (IF Goiano, Rio Verde), Rio Verde, Goiás, Brasil. Foram feitas a abertura dos frutos, a extração manual das sementes e sua homogeneização. As sementes foram acondicionadas em sacos de polietileno de alta densidade para cada avaliação separadamente e cada porção foi reunida em outro saco também de polietileno de alta densidade. Esses sacos foram identificados para cada período de avaliação e armazenados sob determinadas condições.

2.1 Armazenamento

2.1.1 Armazenamento em temperatura ambiente

As sementes embaladas foram mantidas em laboratório dentro de estufa incubadora tipo B.O.D desligada, em temperatura de $25 \pm 2^\circ C$, por período de 12 meses, com avaliações da qualidade a cada 90 dias.

2.1.2 Armazenamento a $10^\circ C$ em estufa tipo B.O.D.

Já embaladas, as sementes foram mantidas em estufa incubadora tipo B.O.D., por 12 meses, com temperatura controlada a 10°C, e a cada 90 dias eram retiradas amostras para avaliação da qualidade.

2.1.2 Armazenamento a 20°C em estufa tipo B.O.D.

As sementes embaladas foram mantidas em estufa incubadora tipo B.O.D., por 12 meses, com temperatura controlada a 20°C, e retiradas amostras a cada 90 dias para avaliação da qualidade desse material.

Amostras de tecidos de reservas e eixos embrionários das sementes de *Sterculia striata* foram coletadas aos 0, 90, 180, 270 e 360 dias após o início do armazenamento nas temperaturas de 25, 10 e 20°C. As amostras foram armazenadas individualmente em papel alumínio e mantidas em nitrogênio (N₂) líquido durante as coletas e, em seguida, armazenadas em ultrafreezer a -80 °C ± 2 para análise, que foi feita aos 450 dias do início do experimento.

As demais porções foram submetidas a avaliações pelos testes de vigor.

2.2 Avaliações fisiológicas

Todas as avaliações foram feitas em paralelo ao início do armazenamento e, para material retirado a cada 90 dias, por temperatura de armazenagem.

2.2.1 Determinação do teor de água – Feita em estufa a 105 ± 3°C, durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS - (BRASIL, 2009). Os foram resultados expressos em porcentagem.

2.2.2 Teste de Germinação – Feito em substrato de areia lavada e esterilizada a 100°C por três dias em estufa de circulação forçada, 20 sementes foram dispostas em quatro repetições, a 5 cm de profundidade, em caixa plástica transparente (24x16,6x10,1cm), com tampa. Cada caixa continha 600g de areia mantida em temperatura alternada de 20-30°C (12-12 h). Previamente, as sementes tiveram seu tegumento externo retirado e sofreram incisão por fricção do tegumento interno com lâmina de uma copiadora de chaves modelo Yale Gold® n°30, promovendo uma abertura no tegumento no hilo conforme pré-testes feitos pela autora para a espécie. O substrato foi umedecido com água destilada até atingir 60% da sua capacidade de retenção (BRASIL, 2009).

As contagens de germinação foram feitas diariamente, considerando germinadas, para substrato de papel, as sementes com prostrusão radicular maior ou igual a 1cm de comprimento e, para o substrato de areia, as sementes com epicótilo visível e com, no mínimo, 1cm de comprimento.

2.2.3 Teste de emergência de plântulas (EME) – Feito em casa de vegetação, com semeadura em leito de areia lavada e esterilizada, com quatro repetições de 50 sementes distribuídas em sulcos longitudinais de 5 cm de profundidade, distanciados 8 cm entre si. O fornecimento de água foi via irrigação por aspersão, automatizada para funcionamento em 4 períodos diários de 10 minutos. Foram feitas contagens diárias, registrando o número de plântulas emergidas (epicótilo a um centímetro acima do nível do substrato). As avaliações finais foram feitas aos 30 dias após a semeadura, mediante arranquio e avaliação visual de cada plântula (NAKAGAWA, 1999), na sequência, foi feita a contagem final para obtenção da porcentagem de plântulas emergidas.

2.2.4 Teste de Envelhecimento Acelerado (EA) - Após pesagem, quatro repetições de 20 sementes foram distribuídas em camadas simples, sobre telas de aço inoxidável no interior de caixas plásticas tipo gerbox, adicionadas de 40mL de água destilada no fundo. As caixas, tampadas, foram mantidas em incubadora à temperatura 42°C por 72 horas, conforme pré-testes feitos previamente (MARCOS FILHO, 1999 Adaptado).

Após o período de envelhecimento por tratamento, as sementes foram submetidas ao teste de germinação conforme item 2.2.2.

2.3 Avaliações bioquímicas

2.3.1 Obtenção do extrato enzimático - para a obtenção do extrato enzimático que será utilizado na determinação da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase inespecífica (POX), glutatona redutase (GR), glutatona-s-transferase (GST) e 0,250 g de tecidos de reservas/embrionários foram macerados com N₂ líquido em almofariz até a obtenção de um pó fino. O pó obtido foi homogeneizado em 2 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 6,8) contendo ácido etilendiaminotetracético (EDTA) 0,1 mM, fluoreto de fenilmetilsulfônico (PMSF) 1 mM e polivinilpirrolidona (PVPP) 5% (m/v). O homogeneizado foi centrifugado a 15000 × g, por 15 min, a 4 °C e o sobrenadante, usado como extrato para as determinações enzimáticas.

2.3.2 Determinação concentração de proteínas - foi determinada, em cada amostra, pelo método de Bradford (1976).

2.3.3 Avaliação da atividade de enzimas do sistema antioxidativo - a atividade da SOD foi determinada pela adição de 60 µL do extrato de tecidos de reservas/embrionários em 1,94 mL de mistura de reação constituída de tampão

fosfato de sódio 50 mM (pH 7,8), metionina 13 mM, azul de *p*-nitro-tetrazólio (NBT) 75 μ M, EDTA 0,1 mM e riboflavina 2 μ M (Del Longo et al., 1993). A reação ocorreu a 25 °C sob iluminação de lâmpadas de 15 W. Após 10 min de exposição à luz, a iluminação foi interrompida e a formazana azul produzida pela fotoredução do NBT foi medida em espectrofotômetro (Evolution 60, Thermo Fisher Scientific Inc., Massachusetts - EUA), a 560 nm (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977). As amostras controle tiveram suas absorvâncias medidas a 560 nm, utilizando mistura de reação mantida no escuro por 10 min. Os valores obtidos foram subtraídos das leituras das amostras das repetições dos tratamentos que receberam iluminação. Uma unidade da SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotoredução do NBT (BEAUCHAMP e FRIDOVICH, 1971). A atividade da SOD foi expressa em unidades de SOD $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da CAT foi determinada pelo método de Cakmak e Marschner (1992). A mistura de reação foi constituída de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 6,8) e de H_2O_2 20 mM em um volume de 2 mL. A reação foi iniciada pela adição de 50 μ L do extrato de tecidos de reservas/embrionários, e a atividade foi determinada pelo consumo de H_2O_2 a 240 nm, durante 1 min, a 25 °C. O coeficiente de extinção molar de 36 $\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (ANDERSON et al., 1995) foi usado para determinar a atividade das CAT, a qual foi expressa em $\text{mmol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da GR foi determinada pela adição de 100 μ L do extrato foliar a 1,9 mL de uma mistura de reação constituída de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5), EDTA 1 mM, glutatona oxidada (GSSG) 1 mM e NADPH 0,1 mM preparado em tampão Tris-HCl 0,5 mM (pH 7,5), segundo Carlberg e Mannervik (1985). O decréscimo na absorvância foi medido a 340 nm, a 30 °C, durante o primeiro minuto de reação. A atividade da GR foi calculada utilizando o coeficiente de extinção molar de 6,22 $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$ (Foyer e Halliwell, 1976) e expressa em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da POX foi determinada pela oxidação do pirogalol, de acordo com a metodologia proposta por Kar e Mishra (1976). A mistura da reação foi constituída de tampão fosfato de potássio 25 mM (pH 6,8), pirogalol 20 mM e H_2O_2 20 mM em um volume de 2 mL. A reação foi iniciada pela adição de 15 μ L do extrato de tecidos de reservas/embrionários, e a atividade foi determinada pelo consumo de H_2O_2 a 420 nm, durante 1 min, a 25 °C. O coeficiente de extinção molar de 2,47 $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$ (CHANCE e MAEHLEY, 1955) foi usado para calcular a

atividade da POX, a qual foi expressa em μmol de purpurogalina produzida $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da GST foi determinada utilizando a metodologia proposta por Habig, Pabst e Jakoby (1974). A mistura de reação foi constituída de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 6,5), glutatona reduzida (GSH) 50 mM e 150 μL do extrato foliar em um volume de 2 mL. A reação foi iniciada pela adição de 500 μL de 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno 30 mM e, em seguida, foi incubada a 25 °C durante 4 min, e a absorbância foi medida a 340 nm durante 3 min. O coeficiente de extinção molar de 9,6 $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$ (HABIG, PABST e JAKOBY, 1974) foi usado para calcular a atividade da GPX, a qual foi expressa em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

2.3.4 Determinação da concentração de aldeído malônico (MDA) - os danos celulares foram avaliados pela peroxidação de lipídios por meio de MDA, conforme descrito por Cakmak e Horst (1991). Amostras de 100 mg de tecido foliar foram maceradas em N_2 líquido em almofariz até a obtenção de um pó fino. O pó obtido foi homogeneizado em 2 mL constituído de ácido tricloroacético (TCA) 1% (m/v). O homogeneizado foi centrifugado a $12000 \times g$, durante 15 min, a 4 °C. Após centrifugação, 0,5 mL do sobrenadante foi adicionado a 1,5 mL da solução de ácido tiobarbitúrico 0,5% (m/v) (preparado em 20% (m/v) de TCA) e incubado em banho maria a 95 °C, por 30 min. Após esse período, a reação foi parada em banho de gelo. As amostras foram centrifugadas a $9000 \times g$, por 10 min, e a absorbância específica do sobrenadante foi determinada a 532 nm. A absorbância inespecífica foi mensurada a 600 nm e subtraída do valor da absorbância específica. A concentração de MDA foi calculada usando o coeficiente de extinção de 155 $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$ e expressa em $\mu\text{mol kg}^{-1}$ de massa fresca (HEATH e PACKER, 1968).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São vários os fatores que influenciam a qualidade de sementes durante o armazenamento, entre eles, destacam-se a temperatura, o teor de água das sementes, composição química do produto, umidade relativa e embalagem (DELOUCHE et al., 1973).

Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), o período de viabilidade da semente pode ser aumentado não somente pela redução do teor de água, mas também pela redução da temperatura de armazenamento. Nesse estudo, não houve efeito isolado da temperatura no desempenho das sementes em estudo, como visto pela análise de variância, que não

mostrou diferença significativa no tratamento temperatura para todas as variáveis analisadas.

A Tabela 1 apresenta os valores das médias para o tratamento tempo.

A Tabela 1 mostra que o tratamento tempo de armazenamento apresentou diferença significativa para todas as variáveis analisadas.

Pode-se perceber que houve redução na qualidade das sementes armazenadas de *S. striata*, afetando a viabilidade e o vigor do material, mostrados pela redução nos percentuais de germinação, emergência e envelhecimento acelerado. Toledo et al. (2009) observaram que a redução na qualidade de sementes geralmente é traduzida pela redução na percentagem de germinação e na redução do vigor de plântulas.

Tal diminuição ocorreu concomitantemente à redução do teor de água das sementes e parece relacionada às variações no teor de água desse material como corroborado por Black, Bewley e Halmer (2006). Resultados semelhantes foram encontrados para o percentual de germinação e o teor de água das sementes armazenadas de *Handroanthus umbellatus* e *Melanoxylon brauna* (MARTINS e PINTO, 2014; BORGES et al., 2015).

TABELA 1. Valores médios de Germinação (%), Emergência (%), Envelhecimento Acelerado - EA (%) e Teor de Água - TA (%) no tratamento tempo de armazenamento de sementes de *S. striata* armazenadas por período de 12 meses. Rio Verde, Goiás – Brasil.

Tempo	Germinação	Emergência	EA	TA
0 meses	100 a	99 a	99 a	12,40 a
3 meses	98 b	97 a	96 ab	11,99 b
6 meses	98 b	97 a	95 b	11,98 b
9 meses	97 b	95 ab	93 b	11,97 ab
12 meses	92 b	93 b	89 c	11,86 b

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 2 mostra que a interação entre os tratamentos temperatura e tempo foi significativa apenas para variável Teor de água (TA). De maneira geral, é possível perceber por essa interação a acentuação da redução na qualidade a partir dos nove

meses de armazenamento, o que, curiosamente, se relacionou com a atividade de algumas enzimas avaliadas.

TABELA 2. Valores médios de Germinação, Emergência, Envelhecimento Acelerado (EA) e Teor de Água (TA), (%b.u.) na interação entre os tratamentos temperatura e tempo de armazenamento de sementes de *S. striata* armazenadas por um período de 12 meses. Rio Verde, Goiás – Brasil.

Tempo	10 °C	20 °C	25 °C
0 meses	12,40 a* A**	12,40 a A	12,40 a A
3 meses	12,05 a B	11,83 b B	12,03 a B
6 meses	11,98 ab B	12,10 a BC	11,88 b B
9 meses	11,93 a B	11,98 a CD	12,08 a BC
12 meses	11,90 a B	11,90 a D	11,78 a C

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Independentemente da temperatura de armazenamento, houve redução no teor de água das sementes em estudo. Segundo Berbert et al. (2008), o teor de água é o fator de maior significância na prevenção da deterioração do grão durante o armazenamento.

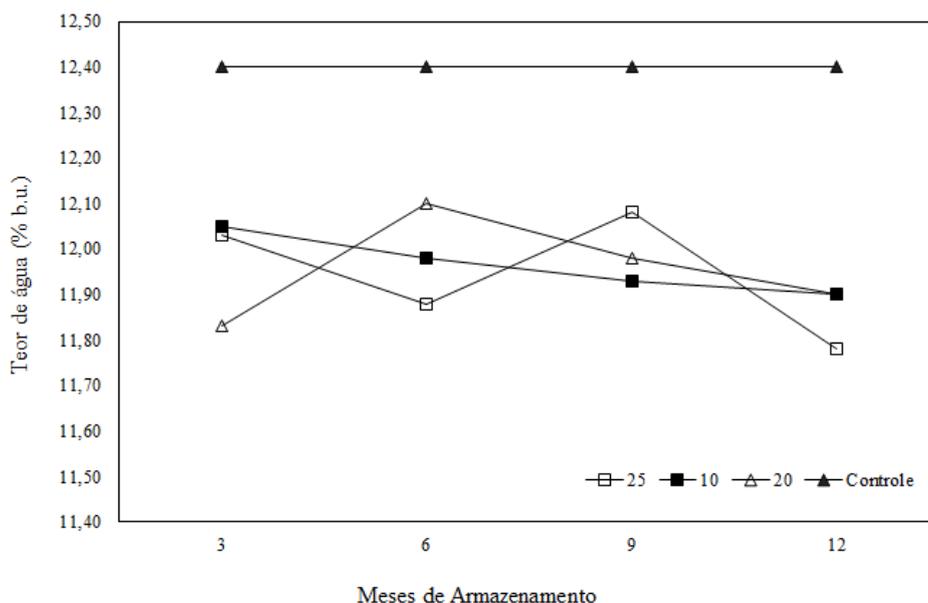


FIGURA 1- Teor de água nas sementes de *S. striata* ao longo de 12 meses de armazenamento, em três diferentes temperaturas, em comparação ao controle.

Segundo Delouche (1990), na temperatura de 20°C, a maioria das sementes ortodoxas com teor de água entre 8 e 10% são armazenadas de forma adequada por 8 a 10 meses.

Conforme Figura 2, para todos os tratamentos, independentemente da temperatura ou do tempo, houve diferença do controle pelo teste t, evidenciando aumento da atividade enzimática.

Para todas as temperaturas, a atividade enzimática de SOD e CAT foi reduzida no tempo de nove meses de armazenamento, o que coincide com a redução da qualidade fisiológica no mesmo período. Evidências apontam que a redução da atividade dessas enzimas no armazenamento está relacionada ao processo de deterioração de sementes (SHABAN et al., 2013).

Enzimas como SOD e CAT podem evitar ou reduzir os danos de EROS, sequestrando-as ou removendo-as.

A SOD é conhecida por ser a primeira enzima na linha de defesa contra EROS, resultante de estresses ambientais, tendo sido verificado comportamento semelhante de redução na atividade da enzima, paralelamente à redução na qualidade fisiológica em sementes de *H. annuus* L. (ABREU et al., 2013).

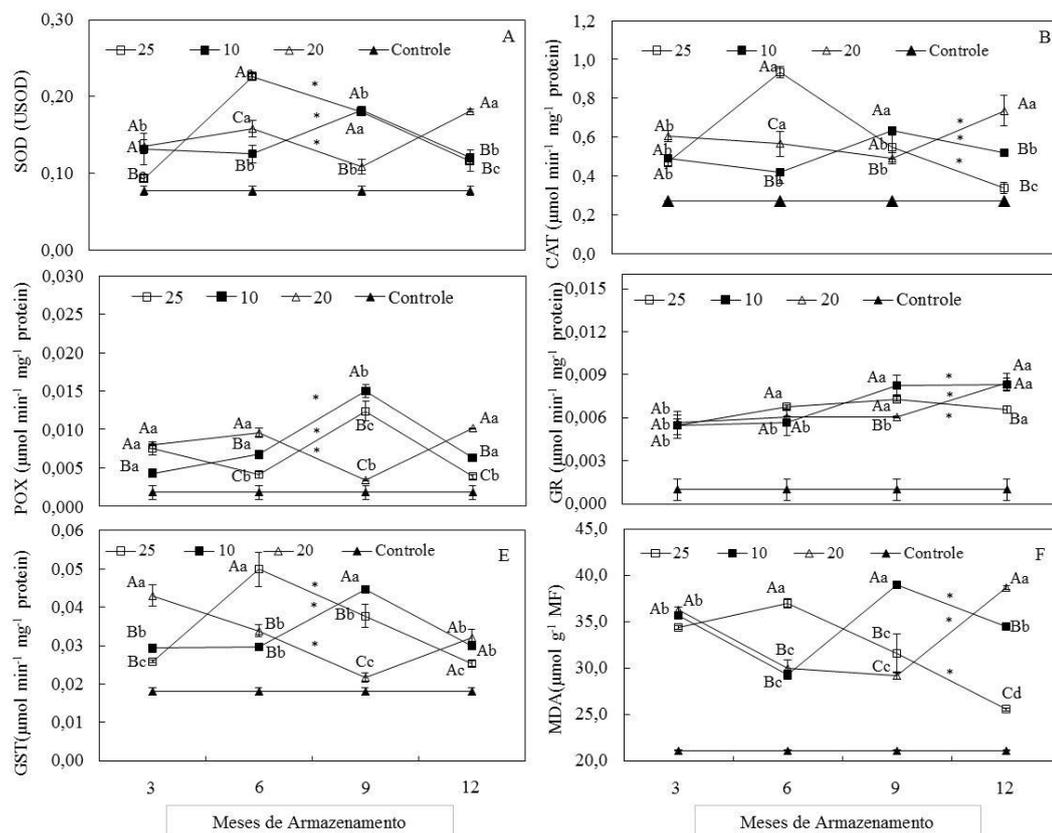


FIGURA 2- A- atividade enzimática de superóxido dismutase (SOD), B- catalase (CAT), C- peroxidase do ascorbato (POX), D- glutationa redutase (GR) e E- glutationa S-Transferase (GST) e, F- pela quantificação de aldeído malônico (MDA) em tecido de reserva e embrião de sementes de *Sterculia striata* armazenadas a 10, 20 e 25°C por 12 meses. Pontos representam as médias e as barras verticais, o erro experimental. Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade. * Média não diferiu do controle pelo teste t a 5% de probabilidade.

Curiosamente, paralelamente à redução na atividade dessas enzimas, houve, para quase todas as temperaturas, incremento na atividade/quantidade de POX, GR, GST e MDA no mesmo período. Esse incremento das demais substâncias antioxidantes deve estar relacionado a uma tentativa de compensação da atividade de POX e CAT, como visto também em sementes de amendoim (DOLATABADIAN e MODARRESSANAVY, 2008) e *Melanoxylon brauna* (BORGES et al., 2015).

Tanto a GR como a MDAR consomem NADPH + H⁺ como fonte de elétrons para produzir seus correspondentes substratos. MDAR é a redução de MDA, que é produto da redução de peróxido de hidrogênio a água por peroxidase. Assim pode-se inferir que

se a quantidade de MDA está aumentando, há outras rotas enzimáticas auxiliando no processo de antioxidação (MITTLER, 2002).

A glutathione redutase (GR) não remove a EROS, mas regenera a glutathione à sua forma reduzida, e a resistência de células ao estresse oxidativo está associada a elevados níveis intracelular de glutathione em sua forma reduzida (ROVER JUNIOR et al., 2001).

CONCLUSÃO

Nas condições desse estudo, com aumento do armazenamento, há aumento na perda da qualidade das sementes de chichá.

A viabilidade e o vigor das sementes de *S. striata* são mantidos por até nove meses de armazenamento.

A redução na atividade enzimática de SOD e CAT é compensada pela ação antioxidante de POX, GR, GST e MDA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.A.S.; CARVALHO, M.L.M.; PINTO, C.A.G.; KATAOKA, V.Y.; SILVA, T.T.A. Deterioration on sunflower seeds during storage. **Journal of seed Science**, v.35, n.2, p.240-247, 2013.

ANDERSON D, PRASAD K, STEWART R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. *Plant Physiol.* 109:1247-1257, 1995.

BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analyt. Biochem.** 44:276-287, 1971.

BERBERT, P. A.; SILVA, J. S.; RUFATO, S.; AFONSO, A. D. L. Indicadores da qualidade dos grãos. In: Silva, J. S. (Ed) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p.63-107.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H.; NONOGAKI, H. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. **Springer**. 3 ed. 2013. 392 p.

BLACK, M.; BEWLEY, J.; HALMER, P. The encyclopedia of seeds: **Science, Technology and Uses**. 1ed. CAB International, 2006.

BORGES, E.E.L.; FLORES, A.V.; ATAÍDE, G.M.; MATOS, A.C.B. Alterações fisiológicas e atividade enzimática em sementes armazenadas de *Melanoxylon brauna*. Schott. **CERNE**, v.21, p. 75-81, 2015.

BRADFORD M.N. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analyt. Biochem.** 72:248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura e reforma Agrária. **Regras para análises de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV. P. 398p., 2009.

CAKMAK I, MARSCHNER H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. **Plant Physiology**. 98:1222-1227, 1992.

CAKMAK L., HORST W.J. Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxide activity on root tip of soybean (*Glycine max*). **Plant Physiology**. 83:463-468, 1991.

CARLBERG, C.; MANNERVIK, B. Glutathione reductase. **Methods Enzymol.** 113:488-495, 1985.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590p.

CHANCE B, MAEHLEY AC. Assay of catalases and peroxidases. **Methods Enzymol.** 2:764-775, 1955.

DEL LONGO, OT, GONZÁLEZ, CA, PASTORI, GM, TRIPPI, VS. Antioxidant defences under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. **Plant Cell Physiology**. 34:1023-1028, 1993.

DELOUCHE, J. C. et al. Storage of seed in sub-tropical and topical regions. **Seed Science and Technology**, New Delhi, v. 1, n. 3, p. 671-700, 1973.

DELOUCHE, J. C. Precepts of seed storage. In: International Satellite Symposium **Seed Science and Technology**, 1990, Hisar. Proceedings... Hisar, 1990, p.71-90.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**. V. 109, p. 212-228, 2015.

DOLATABADIAN, A.; MODARRESSANAVY, S. A. M. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 36, n. 2, p. 61-66, 2008.

EIRAS, C.; SANTOS, A.C.; ZAMPA, M.F.; BRITO, Q.C.F.DE; CONSTANTINO, C.J.L.; ZUCOLOTTI, V.; SANTOS JÚNIOR, J.R. Natural polysaccharides as active biomaterials in nanostructured films for sensing. **Journal of Biomaterials Science**, 21, 1533-1543, 2010.

FOYER CH, HALLIWELL B. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. **Planta** 133:21-25, 1976.

GADJEV, i.; VANDERAUWERA, S.; GECHEV, T.S.; LALOI, C.; MINKOV, I.N.; SHULAEV, V.; APEL, K.; INZÉ, D.; MITTLER, R.; BREUSEGEM, F.V. Transcriptomic footprints disclose specificity of reactive oxygen species signaling in Arabidopsis. **Plant Physiology**. V.141, p 436-445, 2006.

GIANNOPOLITIS CN, RIES SK. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol.* **59**:309-314, 1977.

GOEDERT, W. T.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. de O.. **Savanas Tropicais: Dimensão, Histórico e Perspectivas**. In: _____ Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre Sociedade, Agronegócio e Recursos Naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

HABIG, W.H.; PABST, M.J.; JAKOBY, W.B. Glutathione-S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. **JOURNAL Biol. Chem.** 249:7130-7139, 1974.

- HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Arch. Biochem. Biophys.** 125:189-198, 1968.
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiol.** 57:315-319, 1976.
- KIBINZA, S.; VINEL, D.; CÔME, D.; BAILLY, C.; CORBINEAU, F. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. **Physiologia plantarum**, v. 128, p. 496-506, 2006.
- KIM, Y.H.; KWAK, S.S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. **Enfield: Science Publishers**, 2010. P 129-150.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 368p
- MARCOS FILHO J. 1999. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI FC; VIEIRA RD; FRANÇA NETO JB (eds). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. cap.3., p.1-24.
- 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, 2014.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v.7 (9), p.405-410, 2002.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C., VIEIRA, R. D., FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.2, p.1-24.
- ROCHA, G.M.; ROCHA, M.E.N. Uso popular de plantas medicinais. **Saúde e ambiente em revista**. v.1 (2), p. 76-85, 2007.
- ROVER JÚNIOR, L.; HÖEHR, N.F.; VELLASCO, A.P. Sistema antioxidante envolvendo o ciclo metabólico da glutatona associado a métodos eletroanalíticos na avaliação do estresse oxidativo. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n. 1, p.112-119, 2001.

SHABAN, M. Review on physiological aspects of seed deterioration. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.6, p.627-631, 2013.

TOLEDO, M.Z.; FONSECA, N.R.; CÉSAR, M.L.; SORATTO, R.P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C.A.C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124-133, 2009.

WALTERS, C.; BALLESTEROS, D.; VERTUCCI, V.A.; Structural mechanics of seed deterioration: standing the test of time. **Plant Science**, v.179, p. 565-573, 2010.

CONCLUSÃO GERAL

As folhas, caules e raízes de *S. striata* apresentam características xeromórficas, típicas de espécies nativas do Cerrado, tais como ceras epicuticulares, folhas hipostomáticas, tricomas tectores e glandulares, ductos secretores de mucilagem e idioblastos com cristais de oxalato de cálcio contendo compostos fenólicos. Os ductos secretores de mucilagem na nervura principal das folhas e os tricomas pluricelulares tectores estrelados são característicos da família Malvaceae e podem auxiliar na identificação desta espécie dentro de sua família taxonômica.

Quanto à higroscopicidade, as isotermas obtidas para sementes de *S. striata* têm formato sigmoidal, padrão para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas. O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de chichá. O teor de água de equilíbrio de sementes de *S. striata* foi diretamente proporcional à atividade de água e inversamente proporcional à temperatura para o mesmo valor de atividade de água. Para sementes de *S. striata*, é necessária uma maior quantidade de energia para retirada da água, já que o calor isostérico aumenta à medida que o teor de água diminui.

Com o aumento do tempo de armazenamento, há aumento na perda da qualidade das sementes de chichá. A viabilidade e o vigor das sementes de *S. striata* são mantidos por até nove meses de armazenamento, sendo a redução na atividade enzimática de SOD e CAT compensada pela ação antioxidante de POX, GR, GST e MDA.