

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes**



Dissertação

**Hidratação descontínua:** aprimoramento da expressão do potencial fisiológico de sementes de *Ormosia grossa* Rudd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby em condição de estresse hídrico

**Elson Junior Souza da Silva**

Pelotas, 2021

**Elson Junior Souza da Silva**

**Hidratação descontínua:** aprimoramento da expressão do potencial fisiológico de sementes de *Ormosia grossa* Rudd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby em condição de estresse hídrico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (Ciência e Tecnologia de Sementes).

Orientadora: Profa. Dra. Gizele Ingrid Gadotti

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

S586h Silva, Elson Junior Souza da

Hidratação descontínua : aprimoramento da expressão do potencial fisiológico de sementes de *Ormosia grossa* Rudd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barnebyem condição de estresse hídrico / Elson Junior Souza da Silva ; Gizele Ingrid Gadotti, orientadora. — Pelotas, 2021.

44 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Sementes florestais. 2. Ciclos de hidratação. 3. Curva de hidratação. I. Gadotti, Gizele Ingrid, orient. II. Título.

CDD : 631.521

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Elson Junior Souza da Silva

**Hidratação descontínua:** aprimoramento da expressão do potencial fisiológico de sementes de *Ormosia grossa* Rudd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby em condição de estresse hídrico

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 01 de março de 2021

Banca examinadora:

.....  
Prof. Dra. Gizele Ingrid Gadotti (orientadora)  
Dra. em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Prof. Dra. Barbara França Dantas  
Dr. em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

.....  
Prof. Dr. Francisco Amaral Villela  
Dr. em Fitotecnia pela Universidade de São Paulo

.....  
Dr. Geri Eduardo Meneghello  
Dr. em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

**Dedico esta dissertação à minha mãe Maria Selma, minhas irmãs e sobrinhos. Certamente o constante pensamento em vocês foi uma das motivações diárias para eu chegar até aqui.**

## **Agradecimentos**

A Deus pela regência de minha vida e por tantos planos, sonhos e providências. Tu tens todos meus fracassos, Deus, e terás todas as vitórias.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes e ao Laboratório de Agrotecnologia, na pessoa de tantos profissionais e professores envolvidos que contribuíram para o meu aprimoramento profissional, técnico, científico e pessoal.

À professora Gizele Ingrid Gadotti, pelos ensinamentos desenvolvidos com paciência e competência, bem como pela inspiradora conduta profissional. Estar longe de casa e ter tido uma orientadora como a senhora certamente foi um presente de Deus.

À minha família, em especial a minha mãe (Maria Selma), irmãs (Sara Regina e Samara Silva) e meus queridos sobrinhos, não houve um semestre que eu não buscasse ter vocês na memória como um dos principais incentivos para chegar até aqui.

À querida Jéssy Senado, pelo companheirismo, paciência, amizade e afeto presente em todos os momentos.

A Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis da UFPEL por toda assistência acadêmica durante o mestrado.

Ao meu querido amigo Romário Pinheiro, por estar presente desde o início dessa jornada.

Ao meu querido amigo gaúcho Jonatas Silva por me emprestar a família nos almoços de sábado e pela gentileza em ter me mostrado um pouco da cultura e paisagens desse estado. Certamente fostes um grande irmão durante estes dois anos em Pelotas.

À estimada família gaúcha de Leoni Silva e Evelin Silva pelo enorme carinho, acolhimento e cuidado que tiveram para comigo.

Aos queridos amigos Felipe Fernando e Edson Frozza, por toda paciência e apoio. Vivenciar essa pandemia com vocês certamente tornou o fardo mais leve.

Aos estagiários do Laboratório de Agrotecnologia, sem vocês muitas realizações não teriam sido alcançadas. Aos saudosos amigos que fiz na UFPEL, em especial Rita de Cássia, Amanda Martins, Josiane Figueiredo, Jorge Pantoja, Marcos Daniel, Isabella Moreira e Rafael Timm.

***“Ora, a fé é a certeza de coisas que se esperam e a  
convicção de fatos que não se veem”  
(Hebreus 11:1)***

## Resumo

SILVA, Elson Junior Souza da Silva. **Hidratação descontínua:** aprimoramento da expressão do potencial fisiológico de sementes de *Ormosia grossa* Rudd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby em condição de estresse hídrico. 2021. 44f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

A maioria dos Modelos de Sistemas Terrestres prevê um aumento da intensidade da estação seca na Amazônia no século XXI. Assim, é fundamental investigar o comportamento da germinação de sementes de espécies nativas sob condições de estresse e estratégias para garantir seu estabelecimento. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo descrever o padrão da curva de hidratação de sementes de espécies florestais nativas da Amazônia *Ormosia grossa* Rudd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e avaliar o efeito da hidratação descontínua na germinação de sementes em condições de estresse hídrico. Para tanto, as sementes foram submetidas a 0 (controle), 1 e 2 ciclos de hidratação descontínua, e semeadas em condições de estresse hídrico simulado (0, -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa). As sementes de *O. grossa* apresentam padrão trifásico na curva de hidratação e as sementes de *S. parahyba* var. *amazonicum* tem um padrão bifásico. Ambas as curvas de hidratação se ajustaram à curva de Fourier Maia com uma série de dois termos. A germinação das duas espécies estudadas foi influenciada positivamente pelos ciclos de hidratação descontínua em condições de estresse. Sementes de *O. grossa* e *S. parahyba* var. *amazonicum*, quando submetidas a 2 ciclos de hidratação descontínua, geralmente apresentam melhor desempenho germinativo e podem permanecer quiescência quando submetidas a condições de estresse hídrico.

**Palavras-chave:** sementes florestais, ciclos de hidratação, curva de hidratação



## Abstract

SILVA, Elson Junior Souza da. **Discontinuous hydration:** improving the expression of the seeds physiological potential of *Ormosia grossa* Rudd and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby at water stress condition. 2021. 44f. Dissertation (Master in Science) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Most Terrestrial Systems Models foresee an increase in the intensity of the dry season in the Amazon in the 21st century. Thus, it is essential to investigate the seed germination behavior of native species under stress conditions and strategies to guarantee their establishment. Given the above, this paper aims to describe the hydration curve pattern seeds of the forest species native to the Amazon *Ormosia grossa* Rudd and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* and evaluate the effect of discontinuous hydration on seed germination under water stress conditions. For this, the seeds were submitted to 0 (control), 1, and 2 cycles of discontinuous hydration, and sown under simulated water stress conditions (0, -0.2; -0.4; -0.6 and -0.8 MPa). Seeds of *O. grossa* had a three-phase pattern in the hydration curve and seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum* had a two-phase pattern. Both hydration curves fit the Fourier Maia curve with a series of two terms. The germination of the two studied species is positively influenced by discontinuous hydration cycles under stress conditions. Seeds of *O. grossa* and *S. parahyba* var. *amazonicum*, when submitted to 2 cycles of discontinuous hydration, generally present better germination performance and can remain quiescent when subjected to water stress conditions.

**Keywords:** forest seeds, hydration cycles, hydration curve

## Lista de Figuras

### Artigo

- Figura 1 Hydration curve of *Ormosia grossa* seeds fitted to the Fourier-Maia model with two terms at 30°C and 65% relative humidity. Note:  $a_0=84.04$  (83.67, 84.2);  $a_1=-51.84$  (-52.35, -51.32);  $b_1=-11.12$  (-12.19, -10.05);  $b_2= -1.57$  (-2.15, -1,2);  $w=0.017$  (0.0174, 0.0179). Values in parentheses next to the regression coefficients refer to the 95% confidence interval; RMSE = root mean square deviation; transition phases I-II (h) = 96; transition phases II-III (h)= 180; phase duration I (h)= 96; phase duration II(h)=84; phase duration III (h)=60; the weighing was carried out until the root protrusion of at least 50% of the seeds was observed in each repetition..... 27
- Figura 2 Hydration curve of *S. parahyba* var. *amazonicum* seeds fitted to the Fourier-Maia model with two terms. Note:  $a_0= 71.33$  (68.83, 78.82);  $a_1= -78.29$  (-80.79, -75.79);  $b_1= 9.01$  (8,52, 10,01);  $a_2= 12.22$  (11.8,13.12);  $b_2= 7.95$  (7.11, 8.35);  $w= 0.037$  (0.032 - 0.042). Values in parentheses next to the regression coefficients refer to the 95% confidence interval; RMSE = root mean square deviation; transition phases I-II (h) = 70; phase duration I (h)= 70; phase duration III (h)=10; the weighing was carried out until the root protrusion of at least 50% of the seeds was observed in each repetition..... 27
- Figura 3 Germination of *Ormosia grossa* (A) and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (B) with 0, 1, and 2 cycles of discontinuous hydration subjected to water stress ..... 28
- Figura 4 Germination speed index and mean germination time of *Ormosia grossa* (A and C) and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (B and D) with 0, 1, and 2 cycles of discontinuous hydration subjected to water stress. Note: MGT = 0 means it refers to a null value since there was no germination..... 29
- Figura 5 Germination entropy of seeds of *Ormosia grossa* (A) and

*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (B) with 0, 1, and 2 cycles  
of discontinuous hydration subjected to water stress ..... 30

Figura 6 Percentage of quiescent seeds of *Ormosia grossa* and *S. parahyba*  
var. *amazonicum* with different discontinuous hydration cycles  
subjected to water stress..... 31

## Lista de Tabelas

### Projeto

Tabela 1	Representação experimental da germinação de sementes de <i>T. myrmecophila</i> , <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , <i>S. adstringens</i> e <i>O. grossa</i> , submetidas aos ciclos de desidratação descontínua e estresse hídrico simulado.....	17
----------	--	----

## Sumário

<b>1</b>	<b>Projeto de Pesquisa</b> .....	<b>13</b>
1.1	Introdução.....	14
1.2	Objetivos e Metas.....	15
1.3	Metodologia.....	15
1.4	Cronograma do Projeto.....	19
<b>2</b>	<b>Artigo</b> .....	<b>20</b>
2.1	Introduction.....	21
2.2	Material and method.....	23
2.3	Results.....	26
2.4	Discussion.....	31
2.5	Conclusions.....	35
	<b>Acknowledgements</b> .....	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>Considerações finais</b> .....	<b>36</b>
	<b>Referências</b> .....	<b>36</b>

## **1 Projeto de Pesquisa**

PRPPG – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Aprovado pelo COCEPE em  
29/11/2019 no. 9591

**Qualidade fisiológica de sementes de *Tachigali myrmecophila* (Ducke) Ducke e  
outras espécies amazônicas quanto a tolerância à dessecação e ao  
comportamento do armazenamento de sementes: ciclos de hidratação  
descontínua na germinação de sementes.**

Equipe:

Elson Junior Souza da Silva

Gizele Ingrid Gadotti

Isabella Brandão Moreira

Marcos Daniel Rocha de Oliveira

Rafael Rico Timm

Romário de Mesquita Pinheiro

Elson Junior Souza da Silva

## 1.1 Introdução

O potencial fisiológico de sementes florestais pode ser afetado diretamente pela disponibilidade hídrica (POPINIGIS, 1985). A água é um fator essencial tanto para a formação das sementes como para o início do processo germinativo (BASKIN; BASKIN, 2014; TAIZ et al., 2017). A reidratação é um dos fatores que mais influenciam o processo de germinação, pois intensifica a respiração, promovendo atividades metabólicas para o fornecimento de energia e nutrientes necessários para a retomada do crescimento do embrião (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

O conhecimento do período de germinação, estabelecimento e desenvolvimento das plântulas arbóreas são importantes para a sobrevivência das espécies florestais, principalmente em locais onde fatores estressantes, a exemplo da baixa disponibilidade hídrica são comuns. Nesse sentido, tem-se levantado uma preocupação com o cenário de áreas desflorestadas na região amazônica que podem apresentar um período de estação mais seca, bem como maior demanda por água (BARKHORDARIAN et al., 2019; SALES et al., 2020). Essas condições podem ser um fator limitante para o estabelecimento de diversas espécies seja por meio da semeadura direta ou através da dispersão natural.

O estudo acerca da resposta das espécies florestais sob condições de estresse apresenta diversos pontos de interesse, uma vez que cada espécie apresenta seu próprio mecanismo para sobreviver diante de fatores bióticos e abióticos (GOU et al., 2012). A partir da constatação da capacidade das sementes germinarem em condições adversas pode-se verificar seu desempenho de adaptação a ecossistemas em processo de recuperação com condições desfavoráveis.

Um dos aspectos que pode ser levado em consideração para garantir melhor desempenho germinativo de sementes em condição de estresse é a hidratação descontínua (DUBROVSKY, 1996, 1998; LIMA; MEIADO, 2017; LIMA et al., 2018; NICOLAU et al., 2020; SARMENTO et al., 2020). Esse processo ocorre naturalmente em sementes de espécies de clima com alta temperatura e baixa precipitação pluviométrica. Em virtude da baixa disponibilidade hídrica as sementes não absorvem água suficiente para completar o processo de germinação e perdem a

água absorvida por evaporação (DUBROVSKY, 1996, 1998). Nesse contexto, sementes de algumas espécies podem apresentar a capacidade de armazenar informações bioquímicas e fisiológicas que podem refletir positivamente na germinação das espécies mesmo em condição adversa (DUBROVSKY, 1996, 1998).

No estudo da germinação de sementes, o conhecimento de como o estresse hídrico influencia o processo de germinação tem importância na ecofisiologia para avaliar os limites de tolerância e a capacidade de adaptação das espécies, pois os fatores abióticos interferem na germinação de sementes (LARCHER, 2006).

## 1.2 Objetivos e Metas

Caracterizar a curva de hidratação das sementes de *Tachigali myrmecophila* (Ducke) Ducke, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby, *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville e *Ormosia grossa* Rudd.

Determinar o tempo de hidratação e desidratação das sementes de *T. myrmecophila*, *S. parahyba* var. *amazonicum*, *S. adstringens* e *O. grossa* e estabelecer seus ciclos de hidratação descontínua.

Analisar o efeito dos ciclos de hidratação descontínua na germinação de sementes em condição de estresse hídrico.

Auxiliar na elaboração de novas estratégias de manejo de espécies florestais da região amazônica frente as alterações ambientais.

## 1.3 Metodologia

Este estudo será realizado no Laboratório de Análise de Sementes do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, campus Capão do Leão, Rio Grande do Sul.

No início do experimento será determinado o teor de água das sementes por meio do método em estufa a  $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  em câmara de circulação forçada por 24 horas (BRASIL, 2009). Para tanto, duas repetições de 4g de sementes quebradas de cada espécie serão utilizadas.

*Ciclos de hidratação e desidratação*



O tempo de hidratação e desidratação de ambas as espécies será obtida a partir da curva de hidratação.

#### *Curva de hidratação*

Serão utilizadas quatro repetições de 25 sementes. As sementes serão submetidas ao procedimento de desponte para superação da dormência física e, em seguida, serão colocadas em papel toalha do tipo Germitest® umedecido com água destilada a um volume, equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os papéis serão organizados em forma de rolos coberto por um saco plástico e colocados dentro de um germinador do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) a 30 °C com fotoperíodo de 12 horas.

A massa de sementes inicial será equivalente ao peso de sementes antes da hidratação (tempo zero). A curva de hidratação será obtida a partir dos valores da massa de sementes, verificada em balança analítica em intervalos de 60 minutos até completarem o processo de germinação com a protusão da radícula. A cada 60 minutos as sementes serão retiradas da BOD e colocadas em papel toalha para retirar o excesso de água de sua superfície e, em seguida, será feita a pesagem de cada amostra.

Após a obtenção de todas as pesagens será calculado a percentagem de água absorvida em cada tempo conforme a fórmula abaixo:

$$\% \text{ hidratação} = \left[ \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}} \right] \times 100 \quad (1)$$

#### *Curva de desidratação*

Para a determinação da curva de desidratação serão utilizadas quatro repetições de 25 sementes escarificadas com lixa nº90 na região oposta ao hilo. As sementes serão pesadas inicialmente em balança analítica para a obtenção da massa inicial. Em seguida, cada repetição será colocada entre duas camadas de papel do tipo Germitest® umedecido com água destilada a um volume equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e colocadas em BOD a 30 °C com fotoperíodo de 12 horas durante o período correspondente ao tempo de ¼ da curva de hidratação. Após o tempo de hidratação, as sementes serão retiradas do contato com a água e

colocadas em bandeja forrada com papel toalha, mantidas em ambiente controlado com temperatura a 30 °C e pesadas a cada 60 minutos até atingirem o peso inicial antes da hidratação.

Após o estabelecimento da curva de hidratação, será considerado o tempo de hidratação das sementes equivalente a  $\frac{1}{4}$  da fase II do processo de hidratação (LIMA et al., 2018).

#### *Ciclos de hidratação e desidratação*

Após as curvas de hidratação e desidratação, as sementes serão submetidas a 0, 2 e 4 ciclos de hidratação descontínua, colocadas para germinar em condições de estresse hídrico simulado. Cada ciclo será composto pelo tempo determinado de hidratação ( $\frac{1}{4}$  da fase II da curva de hidratação) e desidratação das sementes, conforme será observado para cada espécie.

#### *Estresse hídrico simulado*

Ao final de cada ciclo, as sementes serão colocadas para germinar em condições de estresse hídrico simulado por soluções de Polietileno Glicol (PEG 6000) nos potenciais osmóticos de 0,0 (água destilada); -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa (VILLELA et al., 1991).

#### *Delineamento experimental*

O delineamento experimental será inteiramente casualizado em esquema fatorial de 3 x 5 (ciclos de desidratação descontínua e potenciais osmóticos), com quatro repetições, cada.

Tabela 1 - Representação experimental da germinação de sementes de *T. myrmecophila*, *S. parahyba* var. *amazonicum*, *S. adstringens* e *O. grossa*, submetidas aos ciclos de desidratação descontínua e estresse hídrico simulado.

Ciclos	Potencial osmótico (MPa)				
	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8
0	T1	T2	T3	T4	T5
2	T6	T7	T8	T9	T10
4	T11	T12	T13	T14	T15

\*T: tratamento

#### *Variáveis a serem analisadas*

Serão avaliadas as seguintes variáveis:

- a) Germinação de sementes (JELLER; PEREZ, 2003):

$$G\% = \frac{(\Sigma n)}{TSS} \times 100 \quad (2)$$

Onde, G%: germinação;  $\Sigma n$  é o número de sementes germinadas ao final do experimento e TSS é o total de sementes semeadas no início do experimento.

- b) Índice de velocidade de germinação (MAGUIRE, 1962):

$$IVG = \left(\frac{G1}{N1}\right) + \left(\frac{G2}{N2}\right) + \dots + \left(\frac{Gn}{Nn}\right) \quad (3)$$

Onde, G1, G2, Gn: número de sementes germinadas na primeira, segunda, (...) e última contagem; N1, N2, Nn: número de dias a primeira, segunda, (...) e última contagem de germinação.

- c) Tempo médio de germinação (LABOURIAU, 1983):

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (4)$$

Onde,  $t_i$ =tempo entre o início do experimento e a  $i$ -ésima observação (dia);  $n_i$ = número de sementes que germinam no tempo  $t_i$  (não número acumulado, mas o número referido para a  $i$ -ésima observação);  $k$ : último tempo de germinação das sementes.

- d) Entropia informacional (LABOURIAU, 1983):

$$\bar{E} = - \sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i \quad (5)$$

Onde,  $\bar{E}$ : entropia;  $f_i$ : frequência relativa de germinação;  $k$ : último dia de observação.

Após o final da avaliação de desempenho germinativo será mensurado a massa seca da parte aérea, raiz e total. Além disso, utilizando análise computadorizada de imagens de plântulas (SVIS®) será analisado também o comprimento de plântulas, índice de vigor, crescimento e uniformidade.

#### *Análise estatística*

Os dados serão submetidos a análise de variância e em seguida será realizado o teste de normalidade de dados pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett a 5% de significância pelo teste F no programa R.

Será verificado se há interação entre os fatores, em seguida os dados serão submetidos análise de regressão.

### 1.4 Cronograma do Projeto

Atividades	Ano 2020							
	Maio		Junho		Julho			
	24 - 30	1 - 10	15 - 24	29-30	1-10	11- 20	20 - (..)	
Revisão bibliográfica	X							
Curva de embebição		X						
Curva de desidratação			X					
Montar experimento sp1				X				
Montar experimento sp2					X			
Montar experimento: sp3						X		
Monitorar experimento sp4							X	
Monitoramento de experimentos				X	X	X	X	
Análise de dados				X	X	X	X	

\*sp= espécie

## 2 Artículo

Revista: Acta Amazonica

**Discontinuous hydration:** improving the expression of the seeds physiological potential of *Ormosia grossa* Rudd and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby at water stress condition

**Abstract:** Most Terrestrial Systems Models foresee an increase in the intensity of the dry season in the Amazon in the 21st century. Thus, it is essential to investigate the seed germination behavior of native species under stress conditions and strategies to favor their establishment. Given the above, this paper aims to describe the hydration curve pattern seeds of the forest species native to the Amazon *Ormosia grossa* Rudd and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* and evaluate the effect of discontinuous hydration on seed germination under water stress conditions. Seeds were submitted to 0, 1, and 2 cycles of discontinuous hydration (HD cycles), and sown under simulated water stress conditions (0, -0.2; -0.4; -0.6 and -0.8 MPa). Seeds of *O. grossa* had a three-phase pattern in the hydration curve and seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum* had a two-phase pattern. Both hydration curves fit the Fourier Maia curve with a series of two terms. The germination of the two studied species was positively influenced by HD cycles under stress conditions. Seeds of *O. grossa* and *S. parahyba* var. *amazonicum*, when submitted to two cycles of HD, generally present better germination performance and can remain quiescent when subjected to water stress conditions.

**Keywords:** forest seeds, hydration cycles, hydration curve

**Hidratación discontinua:** mejora la expresión del potencial fisiológico de semillas de *Ormosia grossa* Rudd y *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby en condición de estrés hídrico

**Resumen:** La mayoría de los modelos de sistemas terrestres prevén un aumento en la intensidad de la estación seca en la Amazonía en el siglo XXI. Así, es fundamental

investigar el comportamiento de germinación de semillas de especies nativas en condiciones de estrés y estrategias para favorecer su establecimiento. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo describir la curva de hidratación de semillas de las especies forestales nativas de la Amazonía *Ormosia grossa* Rudd y *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* y evaluar el efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de semillas en condiciones de estrés hídrico. Las semillas se sometieron a 0 (control), 1 y 2 ciclos de hidratación discontinua (ciclos de HD) y se sembraron en condiciones de estrés hídrico simulado (0, -0,2; -0,4; -0,6 y -0,8 MPa). Las semillas de *O. grossa* tienen un patrón de tres fases en la curva de hidratación y las de *S. parahyba* var. *amazonicum* de dos fases. Ambas curvas de hidratación se ajustan a la curva de Fourier Maia con una serie de dos términos. La germinación de las dos especies estudiadas es influenciada positivamente por los ciclos de HD en condiciones de estrés hídrico. Semillas de *O. grossa* y *S. parahyba* var. *amazonicum*, cuando se someten a dos ciclos de HD, generalmente presentan un mejor rendimiento de germinación y pueden continuar quiescentes cuando se somete a condiciones de estrés hídrico.

**Palabras clave:** semillas forestales, ciclos de hidratación, curva de hidratación

## 2.1 Introduction

The Amazon has the largest tropical forest in the world, covering about eight million square kilometers of the forest with about 16,000 species of trees. It also has approximately 10% of the world's biodiversity and 15% of the planet's freshwater (TER STEEGE et al., 2016). However, in the past few decades, climate changes have been observed dramatically in several Amazon zones, especially concerning the water regime and temperature caused by deforestation (BARKHORDARIAN et al., 2019).

Most Terrestrial System Models (ESMs) foresee an increase in the intensity of the dry season in the Amazon in the 21st century (ARAGÃO et al., 2018; BARKHORDARIAN et al., 2019). If this new climatic configuration is confirmed, it is expected that the Amazon will present oscillations in a large escalation in precipitation, increasing the demand for water and leaving ecosystems vulnerable to

fires and prolonged droughts (MALHI et al., 2008; ARAGÃO et al., 2018; BARKHORDARIAN et al., 2019). Moreover, regional climate models warn of possible changes in the water regime of recently degraded areas (SALES et al., 2020), which creates unfavorable conditions for establishing forest species through direct seeding and natural dispersion.

Nevertheless, regions with high temperatures and irregular rains can cause discontinuous hydration in the seeds. Under this process, seeds of some species may have the capacity to store biochemical and physiological information from previous hydration, improving its germinative capacity. This mechanism is called seed hydration memory (DUBROVSKY, 1996, 1998).

It has been highlighted that species with seeds hydration memory have significant germination values, lower mortality rates, higher germination speed, uniformity, and establishment of vigorous seedling stand under conditions of water and salt stress (LIMA; MEIADO, 2017; LIMA et al., 2018; NICOLAU et al., 2020; SARMENTO et al., 2020). Thus, it may be used as a possible strategy to improve the seeds' germinative performance in unfavorable conditions.

In studies with hydration cycles, the description of the seed hydration curve has been taken into account to elucidate the influence of the process on seed germination. In this context, a modeling statistic is essential to study the water absorption kinetics in each phase of the hydration curve, allowing future comparative analyzes using an accurate model (SILVA et al., 2018).

Given the various environmental changes in the Amazon region, it is essential to investigate the germinative behavior of native species. Furthermore, looking for low-cost strategies that can favor their establishment in these environments. In this context, the use of legume species seeds, such as *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby, can be highlighted because they have the potential to be used to recover deforested areas and agroforest systems (CORDEIRO et al., 2016; SCHWARTZ et al., 2017; GOMES et al., 2019). Some species from the *Ormosia* genus have great importance for building, furniture construction, and the recovery of degraded areas (MOREIRA et al., 1992; PAULA; ALVES, 1997; CARNEIRO et al., 1998; RIBEIRO et al., 1999). Both genus (*Schizolobium* and *Ormosia*) present seeds with tegumentar dormancy, which is considered a survival strategy (CURIEL; MORAES, 2011; SILVA et al., 2014; SILVA

et al., 2015; SILVA et al., 2018; SMYCHNIUK; CALVI; FERRAZ, 2020) and they have orthodox seeds, being tolerant to the desiccation process (CARVALHO, 2003; SILVA et al., 2021).

Thus, this paper aimed to describe the hydration curve pattern seeds of the forest species native to the Amazon *Ormosia grossa* and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* and evaluate the effect of discontinuous hydration on seed germination under water stress conditions.

## 2.2 Material and method

Seeds of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* comes from a subpopulation belonging to the company Amazon flora (1°22' 03.9"S e 48°19' 12.4"W), at the city of Marituba, state of Pará, Brazil. *Ormosia grossa* came from the State Forest of Antimary (9°22'29" S e 68°23'36" W), at the city of Rio Branco, State of Acre, Brazil. Both species seeds were collected at dispersion time directly on the ground. The seeds were transported in a styrofoam container to the city of Pelotas, State of Rio Grande do Sul. They were stored in a cold chamber (Temperature = 15 °C; Relative humidity = 60%) until the beginning of the experiment. Seed moisture content was determined before the experiment according to Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

### *Overcoming seed dormancy and seeds asepsis*

Mechanical scarification was used to overcome both species' seeds' integumentary dormancy, using sandpaper number ninety (GONÇALVES et al., 2011; FERNANDES et al., 2019). The scarification was performed at the opposite region to the hilum. Then they were immersed in 1% sodium hypochlorite for one minute and placed to dry on filter paper.

### *Hydration curve*

For this, four replicates of 25 seeds, each. The curve was drawn from seeds placed to soak in three germitest® paper sheets saturated with distilled water. The amount of water used was 2.5 times the dry paper mass. Then, seeds were placed in a germination chamber of the type Biochemical Oxygen Demand (BOD) Model SL-



224 / U (Temperature = 27 °C; Relative humidity = 65%; Photoperiod = 12 h). The seeds were weighed using an analytical balance of precision (0.0001 g) every hour, ending after protrusion of the primary root of at least 50% of the seeds of each repetition. The estimate of the seed absorption water was made using the following equation:

$$\% \text{ seed hydration} = \left( \frac{fw-iw}{iw} \right) \times 100 \quad (1)$$

Where, "fw" is the final weight, in grams (moisture gain at each hydration period), and "iw" is the initial weight of the seeds before hydration.

#### *Hydration time determination*

The hydration and dehydration time was calculated according to the species' hydration curve. The hydration time used was equivalent to half of phase I of the hydration curve (LIMA et al., 2018), 48 hours for *Ormosia grossa* seeds and 35 hours for *S. parahyba* var. *amazonicum* seeds.

#### *Dehydration time determination*

Four repetitions of 25 seeds were used to determine the dehydration time of the seeds. The samples were initially weighed on an analytical balance to obtain the initial mass. They were then sown under the same conditions as for the hydration time determination; however, they were kept in contact with the water only during the hydration period established for each species. After the hydration time, the seeds were removed from contact with water and placed in a tray lined with filter paper into a germination BOD chamber (Temperature= 30 °C; Relative humidity= 65%). The seeds were weighed every 60 minutes until reaching initial weight (before hydration).

Thus, the dehydration time used was 106 hours for *Ormosia grossa* seeds and 62 hours for *S. parahyba* var. *amazonicum* seeds.

#### *Simulated discontinuous hydration*

The discontinuous hydration process was simulated from the hydration and dehydration times of the seeds of each species. The seeds were submitted to 0 (control), 1 and 2 cycles of discontinuous hydration and sown under simulated water

stress conditions. Each cycle was composed by the determined hydration time (48 hours for *Ormosia grossa*; 35 hours for *S. parahyba* var. *amazonicum*) and dehydration of the seeds (106 hours for *Ormosia grossa*; 62 hours for *S. parahyba* var. *amazonicum*).

#### *Simulated discontinuous hydration*

At the end of each cycle, the seeds were placed to germinate under conditions of water stress simulated by solutions of Polyethylene Glycol (PEG 6000) in osmotic potentials of 0.0 (distilled water); -0.2; -0.4; -0.6 and -0.8 MPa (VILLELA et al., 1991).

#### *Experimental design*

The experimental design was completely randomized in a 3 x 5 factorial scheme (discontinuous hydration cycles and osmotic potentials), with four replications each.

#### *Response variables*

Seed germination (JELLER; PEREZ, 2003), germination speed index (MAGUIRE, 1962), mean germination time (LABOURIAU, 1983) and informational entropy (LABOURIAU, 1983) were evaluated. Seed germination was considered to visualize of at least 2 cm of the radicle (BEWLEY et al., 2013).

Since that every seed is considered quiescent due to the absence of one or more external factors favorable to germination, such as the low water availability studied in this research (RAGHAVAN, 2000; VICENTE-CARBAJOSA; CARBONERO, 2005; BEWLEY et al., 2013), percentage of quiescent seeds was also evaluated.

#### *Quiescent seeds determination*

After germination stabilization of all treatments, non-germinated seeds were removed from the water stress environment and sown on paper towels moistened with distilled water. The paper rolls were duly identified concerning the treatments of the conditions as mentioned earlier submitted (from water stress) and placed in a BOD type germinator at 30 °C and 65% of relative humidity with a 12-hour photoperiod. Thus, the seeds that germinated after this process were considered

quiescent once they were still viable. The percentage of quiescent seeds was calculated from the following equation:

$$Q\% = \frac{\Sigma n}{TNS} \times 100 \quad (2)$$

Where,  $\Sigma n$ = number of seeds removed from the stress condition and germinated in a favorable condition. TNS= total number of seeds sown at the beginning of the experiment.

### *Statistical analysis*

The data were subjected to the test of normality and homogeneity of variances. Once these were proven, the data were subjected to analysis of variance at 5% significance, followed by regression study for germination, mean germination time, germination speed index, and informational entropy.

The percentage of quiescent seeds data were submitted to the Kruskal-Wallis non-parametric test and analyzed using box-plot graphs. The hydration curve adjustments were based on the classic behavior of the studies by Bewley and Black (1978). For this, the Fourier series was used. R-square, adjusted R-square and root mean square error (RMSE) parameters were taken into account for choosing the best-fit series. The Matlab software was used to adjust the models and the R software for the other analyzes.

## **2.3 Results**

The seeds' initial water content was 10% for *Ormosia grossa* and 6.6% for *S. parahyba* var. *amazonicum*.

The seed hydration curve of *Ormosia grossa* and *S. parahyba* var. *amazonicum* fitted the Fourier-Maia curve with two terms (Figure 1 and Figure 2, respectively). Both hydration curve had goodness of fit ( $R^2$  adjusted = 0.99 and RMSE=1.03 for *Ormosia grossa* seeds;  $R^2$  adjusted= 0.99 and RMSE=1.63 for *S. parahyba* var. *amazonicum* seeds).

The *Ormosia grossa* seed hydration curve was described by the three-phase model (Figure 1), with germination beginning at 180 hours and 50% germination 240

hours after soaking initiation. The duration of phase I of the seeds was longer than that of phase II.

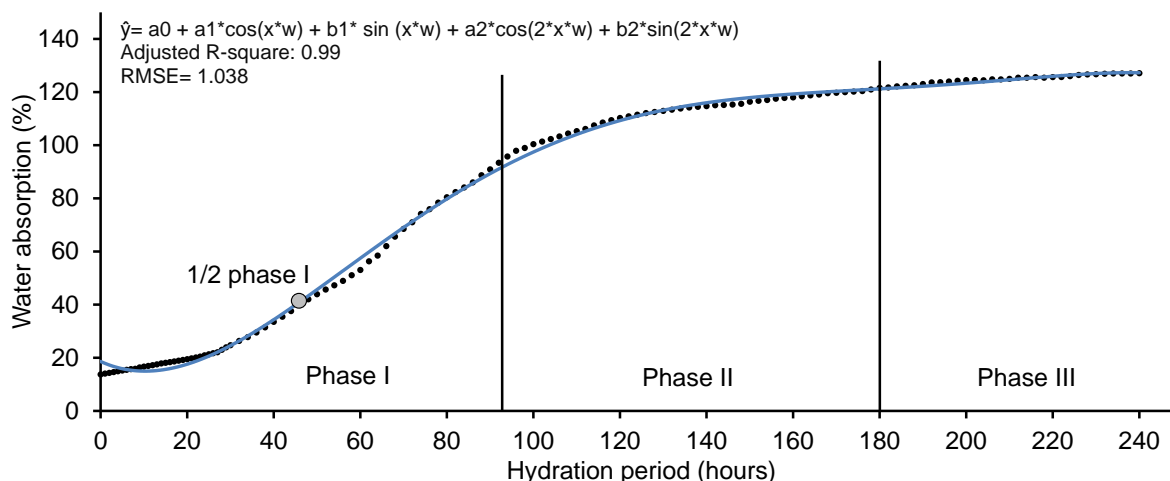


Figure 1 - Hydration curve of *Ormosia grossa* seeds fitted to the Fourier-Maia model with two terms at 30°C and 65% relative humidity. Note:  $a_0=84.04$  (83.67, 84.2);  $a_1=-51.84$  (-52.35, -51.32);  $b_1=-11.12$  (-12.19, -10.05);  $b_2= -1.57$  (-2.15, -1.2);  $w=0.017$  (0.0174, 0.0179). Values in parentheses next to the regression coefficients refer to the 95% confidence interval; RMSE = root mean square deviation; transition phases I-II (h) = 96; transition phases II-III (h)= 180; phase duration I (h)= 96; phase duration II(h)=84; phase duration III (h)=60; the weighing was carried out until the root protrusion of at least 50% of the seeds was observed in each repetition.

The seed hydration curve of *S. parahyba* var. *amazonicum* presented a biphasic behavior (Figure 2), with germination beginning at 70 hours, reaching 50% germination at 90 hours.

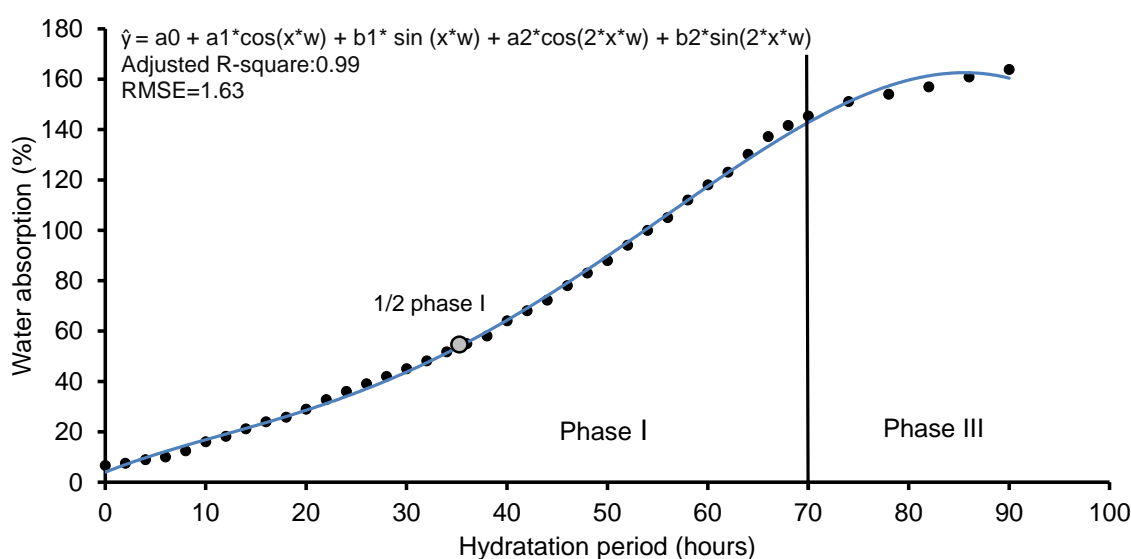


Figure 2 - Hydration curve of *S. parahyba* var. *amazonicum* seeds fitted to the Fourier-Maia model with two terms. Note:  $a_0= 71.33$  (68.83, 78.82);  $a_1= -78.29$  (-80.79, -75.79);  $b_1= 9.01$  (8.52, 10.01);  $a_2= 12.22$  (11.8, 13.12);  $b_2= 7.95$  (7.11, 8.35);  $w= 0.037$  (0.032 - 0.042). Values in parentheses next to

the regression coefficients refer to the 95% confidence interval; RMSE = root mean square deviation; transition phases I-II (h) = 70; phase duration I (h)= 70; phase duration III (h)=10; the weighing was carried out until the root protrusion of at least 50% of the seeds was observed in each repetition.

The seeds that were not submitted to discontinuous hydration cycles (HD cycles) showed a significant reduction in germinative performance parameters under stress conditions. Under these conditions, the seeds of *O. grossa* showed germination of less than 33% from -0.2 MPa and seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum* less than 18% from -0.4 MPa (Figure 3A and 3B).

However, it was possible to notice a significant increase in tolerance to water stress in both species through the use of HD cycles. In this sense, the seeds of *O. grossa* submitted two HD cycles showed an average germination value eight times higher than the other treatments at -0.6 MPa, guaranteeing 47%. In seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum*, two cycles of HD also guaranteed a significant value in germination in the condition of water stress of -0.4 MPa, being equivalent to 78%. The seeds of both species submitted to two HD cycles showed higher germination values in all water stress levels (Figure 3A and 3B).

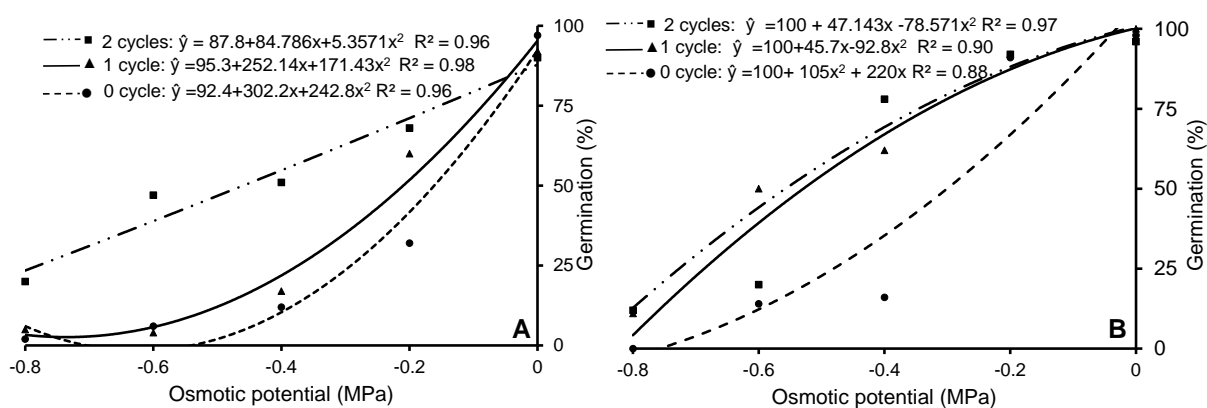


Figure 3 - Germination of *Ormosia grossa* (A) and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (B) with 0, 1, and 2 cycles of discontinuous hydration subjected to water stress.

The use of two discontinuous hydration cycles also benefited the parameters of speed and mean germination time (SGI and MGT) of *Ormosia grossa* seeds at different stress levels (Figure 4 A and 4C). The seeds of this species submitted to two HD cycles had an SGI 10 times higher (SGI ~ 0.74) than the other treatments under water stress condition of -0.6 MPa (SGI ~ 0.07). At -0.8 MPa, lower MGT was

observed in seeds submitted to two HD cycles (~ 15 days), whereas for seeds submitted to one or no HD cycle, the MGT was greater than 17 days.

On the other hand, in seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum* submitted to HD cycles, the SGI was slower from -0.2 MPa (Figure 2B). However, it was possible to notice that all seeds submitted to HD cycles presented low MGT (~ 4 days) in distilled water conditions (0 MPa). In contrast, all other treatments submitted to some water stress level showed a delay in the MGT of at least nine days (Figure 4 D).

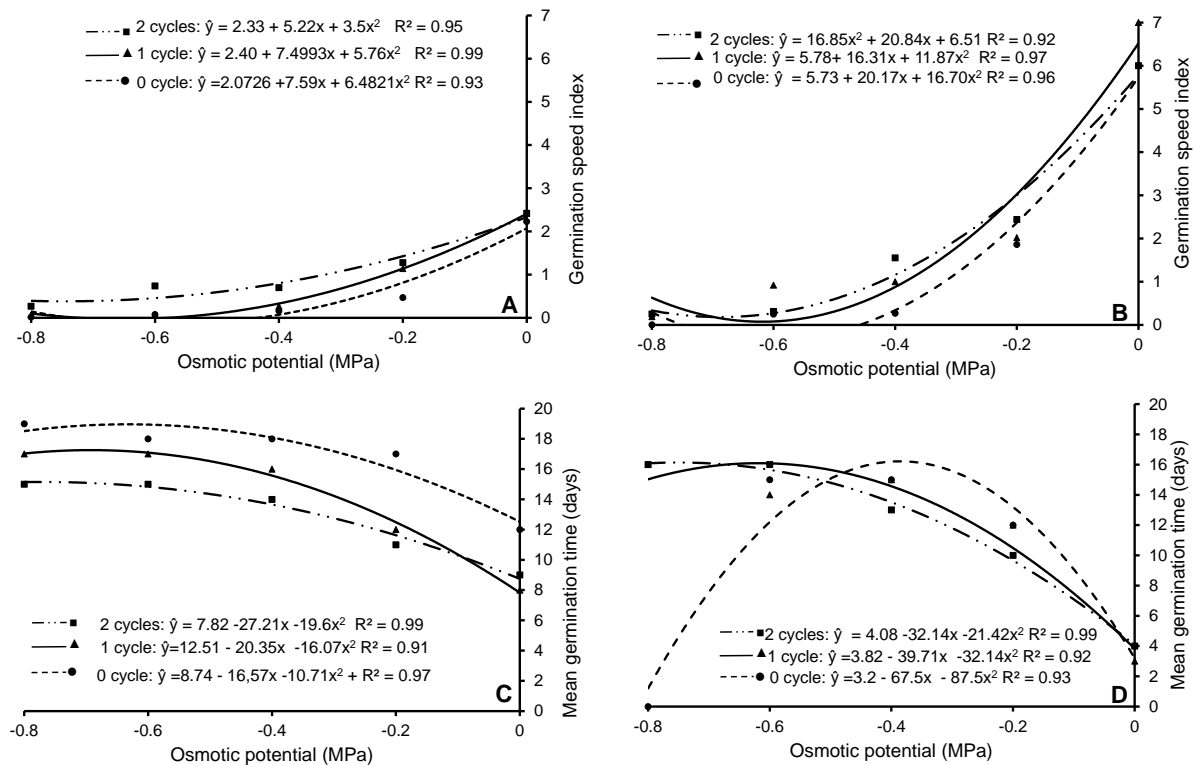


Figure 4 - Germination speed index and mean germination time of *Ormosia grossa* (A and C) and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (B and D) with 0, 1, and 2 cycles of discontinuous hydration subjected to water stress. Note: MGT = 0 means it refers to a null value since there was no germination.

Regarding germination synchronization, taking into account only the favorable germination condition (distilled water), it was possible to notice higher uniformity in the seed samples that had been submitted 1 and 2 cycles of HD in both species (Figure 5). The informational entropy value for *Ormosia grossa* seeds submitted to two HD cycles was lower than the highest disorder value (2.5 bits) in all water stress levels.

The response of the informational entropy of the seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum* submitted to 1 and 2 cycles of HD showed more synchronization concerning the control treatment in distilled water conditions. The seeds submitted to 2 cycles of HD showed greater uniformity in all stress conditions when compared to seeds submitted to 1 cycle of HD (Figure 5B).

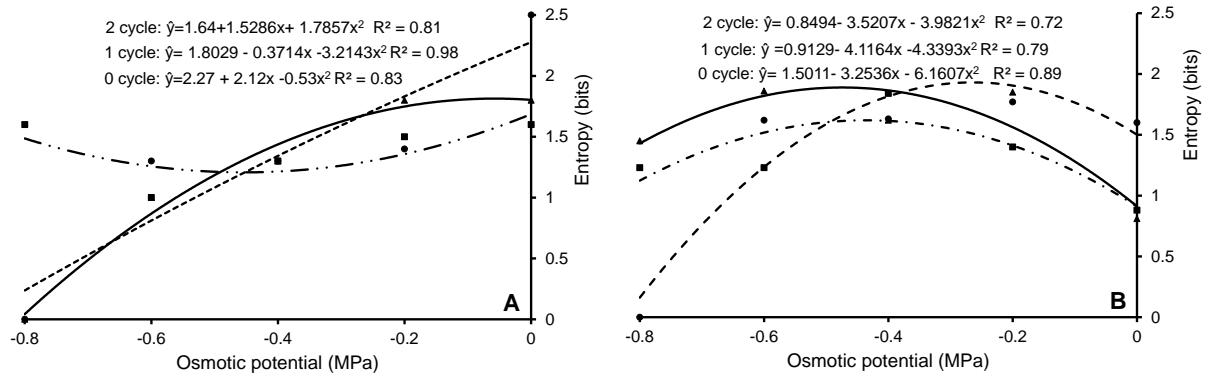


Figure 5 – Germination entropy of seeds of *Ormosia grossa* (A) and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (B) with 0, 1, and 2 cycles of discontinuous hydration subjected to water stress.

Regarding the percentage of seeds germinated after being removed from the water stress environment (between -0.2 MPa and 0.8 MPa), it was possible to conclude that many seeds were still viable. The seeds of *Ormosia grossa* subjected to HD cycles showed a greater tendency to remain quiescent under more extreme water stress conditions (<-0.6 MPa) than those not subjected to HD cycles. For seeds of *S. parahyba* var. *amazonicum*, the more negative the osmotic potential, the greater the tendency of stillness quiescent seeds, regardless of the HD cycle to which they were submitted (Figure 5).

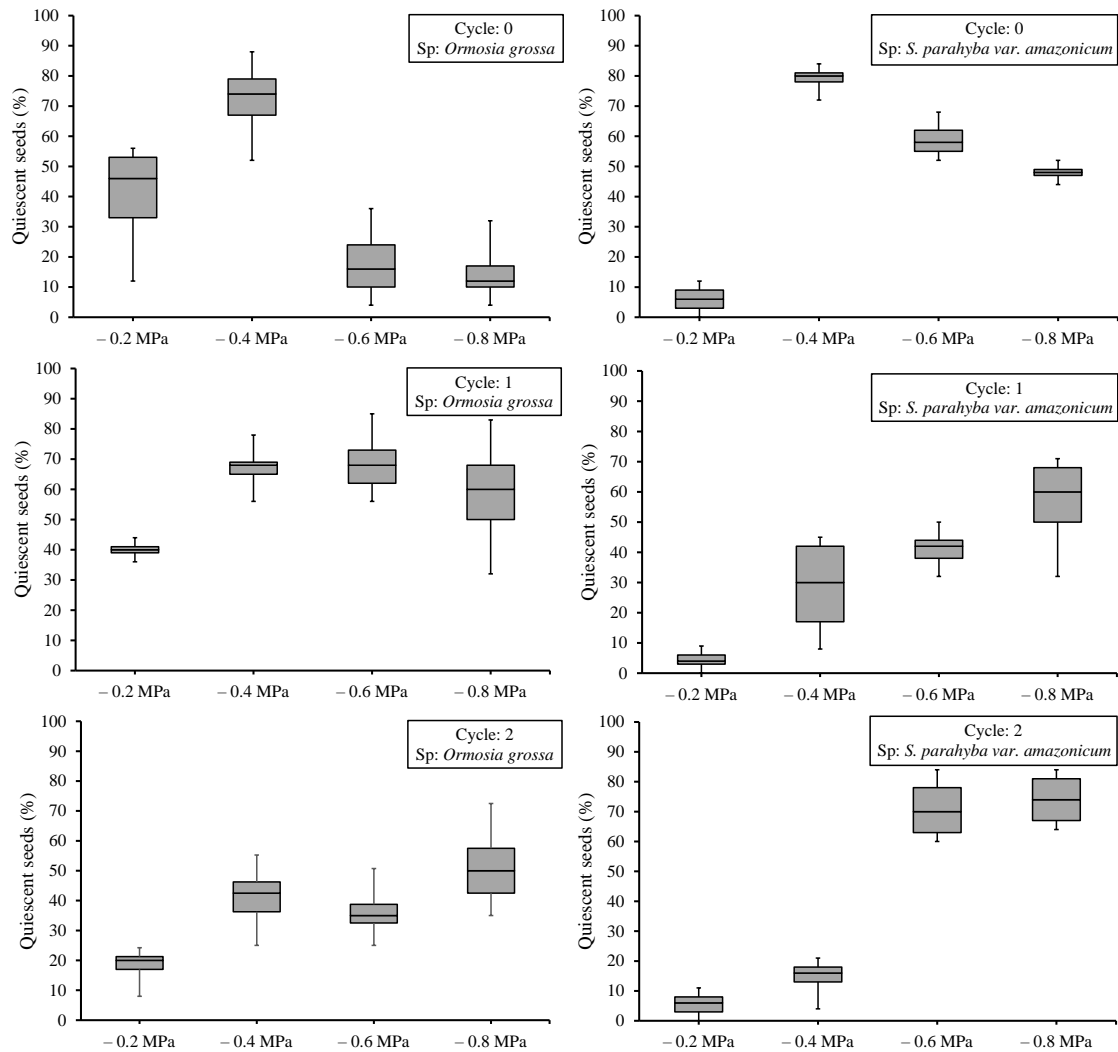


Figure 6 - Percentage of quiescent seeds of *Ormosia grossa* and *S. parahyba var. amazonicum* with different discontinuous hydration cycles subjected to water stress.

## 2.4 Discussion

R-square, adjusted R-square and root mean square error (RMSE) parameters were taken into account for choosing the best-fit series. Thus, the Fourier Maia model's equations with two terms can be considered adequate to predict the absorption of water from the studied forest seeds.

Studies on water absorption kinetics highlight the importance of modeling the grain and seed hydration curve (RESENDE; CORRÊA, 2007; PIMENTA et al., 2014; DEMIRHAN; ÖZBEK, 2015; LISBÔA et al., 2015; MIANO et al., 2016). However, phase III data (beginning of germination from a biological point of view), in general, are not captured by standard and widely used models, such as the Peleg model



(SILVA et al., 2018). Therefore, establishing a good adjustment model capable of capturing all stages of the hydration process as found for seeds of *Ormosia grossa* and *S. parahyba* var. *amazonicum* is essential for seed science and technology. These results allow us to compare seed lots with different physiological potentials, stored lots, analyze the hydration curve's behavior at different temperatures, and evaluate physiological conditioning's viability from the respective complete soaking curves (SILVA et al, 2018).

The study of seed hydration kinetics is key for developing pre-germination techniques, for determining the absorption period in seeds treated with plant regulators (ALBUQUERQUE et al., 2000). Besides, knowledge of the hydration process helps identify some partial impermeability of the tegument or define ways to overcome dormancy (SILVA et al., 2018).

The three-phase water hydration pattern observed in *Ormosia grossa*'s seeds is under the concept established by Bewley; Black (1994). A three-phase behavior was also observed in seeds of *Ormosia arborea* (Vell.) Harms and *Ormosia paraensis* Ducke (CURIEL; MORAES, 2011; SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015; SILVA et al., 2018).

It was observed that seeds submitted to two or more discontinuous hydration cycles in 1/2 of phase I may present better germinative performance (LIMA; MEIADO, 2017). This result may be related to the fact that the seeds reach other points on the hydration curve but in phase II after rehydration. In phase II of the hydration curve, physiological and biochemical changes already occur, influencing the seeds' germinative performance (MARCOS-FILHO, 2005).

Seeds of the genus *Ormosia* may have an integument formed by four layers, one of which is composed of hydrophobic substances that can restrict water entry in the seeds through other parts, even after overcoming dormancy (SILVA et al., 2015). In this sense, Hudson et al. (2015) and Silva et al. (2015) added that the palisade layer's chemical composition, arrangement, and intercellular substances could influence water absorption by the seed.

*S. parahyba* var. *amazonicum* seeds with a hydration biphasic pattern presents an anatomical structure that can be easily broken through high temperatures and humidity (SMYCHNIUK et al., 2020). Thus, in addition to the water entry made by scarifying the seed, other openings may have arisen due to the

experiment's conditions, promoting rapid water absorption by the seeds. The biphasic behavior on the hydration curve is also characteristic of other forest species such as *Leucaena leucocephala* (Lam.), *Bowdichia virgilioides* Kunth e *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f ex S. Moore (SALOMÃO; FUJICHIMA, 2002; OLIVEIRA et al., 2019). According to Santos et al. (2018), some species may have this behavior because the radicle emission is not associated with the increase in biomass.

The use of two cycles of HD with a hydration and dehydration time of 18h also favored the germination of *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R. W. Jobson seeds in extreme water stress (-0.8 MPa) (NICOLAU et al., 2020). However, similarly, the authors of this study observed a reduction in the germination speed of *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth and *P. moniliformis*. In this sense, some species may present different germinative behavior when subjected to stress (AZEREDO et al., 2016; LIMA et al., 2018; NICOLAU et al., 2020). Under very negative osmotic potentials, the seed's water absorption is affected, reducing germination and delaying this process's speed.

Much of the discontinuous hydration studies are associated with species of ecosystems in the Caatinga and Cerrado because they are characterized by dry weather and high temperatures (RITO et al., 2009; LÓPEZ-URRUTIA et al., 2014; CONTRERAS-QUIROZ et al., 2016; LIMA; MEIADO 2017; SANTOS; MEIADO 2017; LIMA et al., 2018; NICOLAU et al., 2020). However, there is no scientific proof that it is an event that occurs only in species from these geographical sites. Besides, not all species occurring in these environments have hydration memory, such as *Macropitulum atropurpureum* (Sessé & Moc. ex DC.) Urb. (LIMA; OLIVEIRA; MEIADO, 2018). Besides, some cultivated species also respond positively to discontinuous hydration (ARAGÃO et al., 1999; ARAGÃO et al., 2000; MATIAS et al., 2015). Thus, the result obtained in this research with Amazonian species can show that the discontinuous hydration process can also be useful in seeds of species from other ecosystems.

The positive effect of discontinuous hydration in *S. parahyba* var. *amazonicum* and *Ormosia grossa* may be associated with the species' microenvironment characteristics, genetic changes, or the accumulation of LEAS proteins that stimulate positive responses to stress in orthodox seeds (CHEN; ARORA, 2013; LÓPEZ-URRUTIA et al., 2014; COSTA et al., 2017; LIMA; MEIADO 2017; LIMA et al., 2018;

KIJAK; RATAJCZAK, 2020). However, an investigation is necessary to prove the hypotheses. It has already been found that the hydration memory of seeds may be associated with environmental characteristics (LIMA; MEIADO, 2017).

Greater tolerance to the stress condition, better synchronization rates, and shorter germination times were also observed in other species submitted to more than one cycle of discontinuous hydration concerning the control treatment (AZEREDO et al., 2016; CONTRERAS-QUIROZ et al., 2016; SARMENTO et al., 2020). Prolonged hydration, especially under low water potentials, can significantly influence the speed, synchrony, and germination percentage (PRISCO; GOMES-FILHO, 2010; BEWLEY et al., 2013). This mechanism is related to the capacity that the seeds have to maintain the biochemical and physiological changes that happen during the soaking of the seeds promoted by the previous hydration (DUBROVSKY 1996, 1998; MEIADO, 2013).

Several models estimate prolonged drought periods, causing water stress in many areas of the Amazon region (ARAGÃO et al., 2018; BARKHORDARIAN et al., 2019; SALES et al., 2020). Thus, understanding plants' tolerance to drought and how to manage them can help in the recovery of areas with adverse conditions (SANTOS et al., 2011).

A significant reduction in germination can be observed in several studies with water stress in the most negative osmotic potentials. These stress conditions can prevent seed germination and keep the seed as quiescent (BEWLEY et al., 2013). In the germination process, stage II is considered a latency phase with little water absorption and is where the physiological transition from quiescence to germination occurs (BEWLEY; BLACK, 1994).

According to the results of this study, it can be demonstrated that at least more than 30% of all seeds subjected to the most severe stress conditions remain quiescent. This condition is mainly because the primary factor for the beginning of germination, water availability (BASKIN; BASKIN, 2014), presented some degree of restriction due to the different water stress levels.

A notable property of some quiescent seeds is that they can survive in this condition for years. Many quiescent seeds need only be hydrated for germination to occur and subjected to ideal temperature and oxygen (BEWLEY et al., 2013).

The tendency for a higher percentage of quiescent seeds in the most negative osmotic potentials may be associated with the stress agent's characteristics, which, due to its high viscosity, interferes with water availability and diffusion of oxygen in the seeds (SOUSA et al., 2018). The more negative the osmotic potential, the greater the time of phase II, and progressions the germination process's delay or impediment (BEWLEY et al., 2013).

From an ecological point of view, the quiescence of seeds represents an evolutionary advantage. It facilitates the dispersion and resumption of the embryonic axis's growth in ideal environments (RAGHAVAN, 2000; VICENTE-CARBAJOSA; CARBONERO, 2005).

The results of this research can be relevant to support reforestation techniques in the Amazon region, such as direct sowing in unfavorable conditions.

## **2.5 Conclusions**

Seeds of *Ormosia grossa* have a three-phase pattern in the hydration curve and two-phase *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* seeds. Both hydration curves fit the Fourier Maia curve with a series of two terms.

The germination of the two studied species is positively influenced by HD cycles under stress conditions. Seeds of *O. grossa* and *S. parahyba* var. *amazonicum*, when submitted to 2 cycles of HD, generally present better germination performance and can remain quiescence when subjected to water stress conditions.

## **Acknowledgements**

The authors thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES; Financial Code 001) for granting of scholarships, and the Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal Rural da Amazônia for donating seeds materials.

### 3 Considerações finais

Sugere-se para pesquisas futuras:

1. Investigar a influência dos ciclos de hidratação descontínua na qualidade de plântulas utilizando análise computadorizada de imagens (SVIS®)
2. Analisar a composição química das sementes, bem como realizar análise enzimática.
3. Estudar a influência dos ciclos de hidratação descontínua em outras espécies florestais pioneiras com sementes ortodoxas levando em consideração diferentes ecossistemas, a exemplo de *Tachigali myrmecophila* e *Stryphnodendron adstringens*.

### Referências

ALBUQUERQUE, M. C. F.; RODRIGUES, T. J. D.; MENDONÇA, E. A. F. Absorção de água por sementes de *Crotalaria spectabilis* Roth determinada em diferentes temperaturas e disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, p. 206–215, 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v22n1p206-215>

ARAGÃO, C. A.; MORAIS, O. M.; LIMA, E. V.; LEMOS, L. B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Efeito da hidratação seguido da secagem na qualidade fisiológica de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n.2, p. 180-186, 1999.

ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F.; ALVES, E.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Efeito de ciclos e períodos de hidratação-secagem na germinação e no vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n.2, p. 72-77, 2000.

ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>

AZEREDO, G. A. de; PAULA, R. C. de; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. sob estresse hídrico. **Ciência Florestal**, v. 26, n.1, p.193-202, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509821112>.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 3 ed. Jaboticabal: FUNEP. 1995. 247 p.

BARKHORDARIAN, A.; SAATCHI, S. S.; BEHRANGI, A.; LOIKITH, P. C.; MECHOSO, C. R. A Recent Systematic Increase in Vapor Pressure Deficit over Tropical South America. **Scientific Reports**, v. 9, n. 15331, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51857-8>

BASKIN, C. C; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2014. 1602 p.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer. 2013. 134p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; CARVALHO, D.; BOTELHO, S. A.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no sudeste do Brasil. **Cerne**, v. 4, n.1, p.129-145, 1998.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO. P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa Informação Tecnológica. Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

CHEN, K; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 94, p. 33-45, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.005>.

CONTRERAS-QUIROZ, M.; PANDO-MORENO, M.; JURADO, E.; FLORES, J.; BAUK, K.; GURVICH, D. E. Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. **Journal of Arid Environments**, v. 130, p. 94-97, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.001>.

CORDEIRO, I. A. M. C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M. de; GAZEL-FILHO, A. B.; BARROS, P. L. C. de; LAMEIRA, O. A.; OLIVEIRA, F. A. Crecimiento del *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* cultivado en presencia de *Ananas comosus* var. *erectifolius* en Pará, Brasil. **Agrociencia**, v. 50, n. 1, p. 79-88, 2016.

COSTA, M. C.; ARTUR, M.; MAIA, J. et al. A footprint of desiccation tolerance in the genome of *Xerophyta viscosa*. **Nature Plants**, v. 3, n. 17038, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.38>

CURIEL, A. C.; MORAES, C. Germinação de *Ormosia arborea* (Vell.) Harms submetida a diferentes períodos de exposição e concentração de GA3 pós escarificação mecânica. **Scientia Plena**, v.7, n. 12, p.1-6, 2011.

DEMIRHAN, E.; OZBEK, B. Modeling of the water uptake process for cowpea seeds (*Vigna unguiculata* L.) under common treatment and microwave treatment. **Journal-Chemical Society of Pakistan**, v. 37, n.1, p.1-10, 2015.

DUBROVSKY, J. G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, p. 624-632, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1996.tb12748.x>

DUBROVSKY, J.G. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. **Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 125, n. 1, p.33-39, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2997229>

FERNANDES, R. O.; PINHEIRO NETO, O. L.; SANTOS, J. S.; ALMEIDA, A. D. S.; PICANÇO, L. I. B.; MACIEL, C. G. Dormancy overcoming of *Schizolobium amazonicum huber* ex Ducke. (Caesalpinoideae) seeds. **Ciência Agrícola**, v. 17, n. 3, p. 41-44, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v17i3.5906>

GONÇALVES, E. P.; SOARES, F. S. J.; SILVA, S. S.; TAVARES, D. S.; VIANA, J. S.; CARDOSO, B. C. C. Dormancy breaking in *Ormosia arborea* seeds.

**International Journal of Agronomy**, v. 2011, n. 524709, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/524709>

GOMES, J. M.; SILVA, J. C. F. da; VIEIRA, S. B.; CARVALHO, J. O. P. de; OLIVEIRA, L. C. L. Q.; QUEIROZ, W. T. de. *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby pode ser utilizada em enriquecimento de clareiras de exploração florestal na Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050984793>

GUO, R.; HAO, W.; GONG, D. Effects of Water Stress on Germination and Growth of Linseed Seedlings (*Linum usitatissimum* L), Photosynthetic Efficiency and Accumulation of Metabolites. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 10, p. 253-265, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v4n10p253>

HUDSON, A. R.; AYRE, D. J.; OOI, M. K. Physical dormancy in a changing climate. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 66-81, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258514000403>

KIJAK, H.; RATAJCZAK, E. What Do We Know About the Genetic Basis of Seed Desiccation Tolerance and Longevity? **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 3612, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21103612>

JELLER, H.; PEREZ, S. C. J. G. A. Condicionamento osmótico na germinação de sementes de cássia-do-nordeste sob estresse hídrico, térmico e salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1025-1034, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900002>.

LABOURIAU, L. F. G. **Germinação das sementes**. Washington: Secretaria da OEA, 1983. 173 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 531p.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, v. 27, n. 4, p. 292-302, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258517000241>

LIMA, A. T.; CUNHA, P. H. J da; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Does discontinuous hydration of *Senna spectabilis* (D.C.) H.S. Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) seeds confer tolerance to water stress during seed



germination? **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 036-043, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n1182838>

LIMA, A. T.; OLIVEIRA, D. M.; MEIADO, M. V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Macroptilium atropurpureum* seeds germination under water deficit conditions. **Communications in Plant Sciences**, v. 8, p. 55-61, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.26814/cps2018008>

LISBOA, J. F.; SILVA, J. N.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, E. M. C. A.; GONCALVES, M. C. Análise da hidratação de grãos de alpiste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 218-223, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p218-223>

LÓPEZ-URRUTIA, E.; MARTÍNEZ-GARCÍA, M.; MONSALVO-REYES, A.; SALAZAR-ROJAS, V.; MONTOYA, R.; CAMPOS, J. Differential RNA- and protein-expression profiles of cactus seeds capable of hydration memory. **Seed Science Research**, v. 24, n. 2, p. 91-99, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258513000317>

MALHI, Y.; ROBERTS, T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 169, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1146961>

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-77, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MATIAS, J. R.; RIBEIRO, R. C.; ARAGÃO, C. A.; ARAÚJO, G. G. L.; DANTAS, B. F. Physiological changes in osmo and hydroprimed cucumber seeds germinated in biosaline water. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 1, p. 07-15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n1135472>

MEIADO, M. V. Evidências de memória hídrica em sementes da Caatinga. In: STELMANN, J.R.; ISAIAS, R.M.S.; MODOLO, L.V.; VALE, F.H.A.; SALINO, A. (Eds). **Anais do 64° Congresso Nacional de Botânica: botânica sempre viva**. Belo Horizonte: Sociedade Botânica do Brasil, 2013. p.89–94.

MIANO, A. C.; PEREIRA, J. C.; CASTANHA, N.; JUNIOR, M. D. M.; AUGUSTO, P. E. D. Enhancing mung bean hydration using the ultrasound technology: Description of mechanisms and impact on its germination and main components. **Scientific Reports**, v. 6, n. 38996, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep38996>

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, M. F.; FARIA, S. M. Occurrence of nodulation in legume species in the Amazon region. **New phytologist**, v. 121, p. 563-570, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01126.x>

NICOLAU, J. P. B.; SILVA, F. E.; FELIX, F. C.; TORRES, S. B.; PACHECO, M. V.; PEREIRA, M. D. Discontinuous hydration on the germination of *Mimosa caesalpiniiifolia* and *Pityrocarpa moniliformis* seeds under water stress. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n228rc>

OLIVEIRA, G. M.; FREITAS, T. A. S.; VASCONCELOS, R. S.; ALMEIDA, C. V. C.; SILVA, J. G.; SILVA, J. J. Luminosidade e curva de embebição de pagua para sementes de espécies florestais. **Revista Científica Intelletto**, v. 4, n. 2, p. 16-25, 2019.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas**: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília: Fundação Mokiti Okada – MOA, 1997. 543 p.

PIMENTA, A.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; LAVIOLA, B. G.; PANOBIANCO, M. Curva de absorção de água em sementes de pinhão-manso. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n.3, p. 295–301, 2014.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GREYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 143-159, 2010.

RAGHAVAN, V. **Developmental Biology of Flowering Plants**. New York: Springer, 2000. 254 p.

RESENDE, O.; CORREA, P.C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 373–378, 2007. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i3.387>

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. **Flora da Reserva Ducke**: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firma na Amazônia Central. Manaus: INPA, 1999. 816p.

RITO, K. F.; ROCHA, E. A.; LEAL, I, R.; MEIADO, M. V. As sementes de mandacaru têm memória hídrica? **Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas**, v. 6, n. 1, p. 26-31, 2009.

SALES, F. de; SANTIAGO, T.; BIGGS, T. W.; MULLAN, K.; SILLS, E. O.; MONTEVERDE, C. Impacts of Protected Area Deforestation on Dry-Season Regional Climate in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, n. 16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020JD033048>

SALOMÃO, A. N.; FUJICHIMA, A. G. **Respostas de sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore (Bignoniaceae) à dessecação e ao congelamento em temperaturas subzero**. Brasília: Embrapa/Cenargen, 2002. 4p. (Comunicado técnico, n. 76).

SANTOS, A. R. F dos.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Restrição hídrica em sementes de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 213-220, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000200006>

SANTOS, A. P.; MEIADO, M. V. Influência da hidratação descontínua na germinação de sementes e no crescimento inicial de plântulas de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Sm. (Fabaceae). **Gaia Scientia**, v. 11, n. 4, p. 19-25, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n4.35465>

SANTOS, J. A. S.; LIMA, A. T.; SILVA, E. C.; MEIADO, M. V. Caracterização das curvas de embebição e desidratação de sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f ex S. Moore (Bignoniaceae). In: Workshop de Sementes e Mudanças da Caatinga, 6., 2018. **Informativo Abrates (Edição Especial)**. Londrina: ABRATES, v. 28, n. 1, 2018. p. 89-92.

SARMENTO, E. C. S.; OLIVEIRA, F. S.; CABRAL, F. A. S.; OLIVEIRA, D. F.; DUTRA, A. L. Physiological potential of sorghum seeds under discontinuous hydration and water deficiency conditions. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 51, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200069>

SILVA, A. L.; DIAS, D. C. F. S.; LIMA, L. B.; MORAIS, G. A. Methods for overcoming seed dormancy in *Ormosia arborea* seeds, characterization and harvest time. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 3, p.318-325, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n31012>

SILVA, B. M. S.; SILVA, C. O.; MORO, F. V.; VIEIRA, R. D. Morphoanatomy of fruit, seed and seedling of *Ormosia paraensis* Ducke. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 4, p. 192-198, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n4151436>

SILVA, A. R.; LEÃO-ARAÚJO, E. F.; REZENDE, B. R.; SANTOS, W. V.; SANTANA, H. A.; SILVA, S. C. M.; FERNANDES, N. A.; COSTA, D. S.; MESQUITA, J. C. P. Modeling the Three Phases of the Soaking Kinetics of Seeds. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 1, p. 164-170, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0373>

SILVA, B. M. S.; SILVA, C. O.; MORO, F. V.; VIEIRA, R. D. Seed anatomy and water uptake and their relation to seed dormancy of *Ormosia paraensis* Ducke. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 237-245, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n3177599>

SILVA, A. L.; CARLOS, H. C. V.; RIVABEN, R. C.; SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. S.; MORAIS, G. A.; LIMA, L. B. Tetrazolium and interaction of temperature and light under seed germination in *Ormosia arborea* (Fabaceae). **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 1, e5206, 2021. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v8i1.5206>

SMYCHNIUK, A. A.; CALVI, G. P.; FERRAZ, I. D. K. Moist Heat Overcomes Physical Dormancy at the Seed Coat Lens in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, e20190093, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.009319>

SOUSA, E. C.; SILVA, D. V.; SOUSA, D. M. M.; TORRES, S. B.; OLIVEIRA, R. R. T. Physiological changes in *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. seeds from different sources and submitted to abiotic stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 383-389, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p383-389>.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P. C. G.; SIVIERO, M. A.; PEREIRA, J. F.; RUSCHEL, A. R.; YARED, J. A. G. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 390, p. 166-172, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.031>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TER STEEGE, H.; VAESSEN, R.; CÁRDENAS-LÓPEZ, D. et al. The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. **Scientific Reports**, v. 6, n. 29549, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep29549>

VICENTE-CARBAJOSA, J.; CARBONERO, P. Seed maturation: developing an intrusive phase to accomplish a quiescent state. **The International Journal of Developmental Biology**, v. 49, n. 5-6, p. 645-51, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1387/ijdb.052046jc>

VILLELA, F. A.; DONI-FILHO, L.; SEQUEIRA, E.L. **Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 26, n. 11/12, p. 1957-1968, 1991.