

MURILO CORREIA SANTOS

OSMOCONDICIONAMENTO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO
GERMINATIVA EM SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Pseudobombax*
marginatum (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns

RECIFE

Pernambuco – Brasil

Maior – 2024

MURILO CORREIA SANTOS

OSMOCONDICIONAMENTO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO
GERMINATIVA EM SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Pseudobombax*
marginatum (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
para obtenção do título de Mestre em
Ciências Florestais, Área de Concentração:
Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcone Moreira Santos

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Gallo

RECIFE

Pernambuco – Brasil

Maior – 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237o Santos, Murilo Correia
Osmocondicionamento e capacidade de recuperação germinativa em sementes e plântulas de *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns / Murilo Correia Santos. - 2024.
83 f.

Orientador: Marcone Moreira
Santos. Coorientador: Ricardo Gallo.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Recife, 2024.

1. Sementes Florestais. 2. Estresse Hídrico. 3. Condicionamento Fisiológico. 4. Memória Hídrica. I. Santos, Marcone Moreira, orient. II. Gallo, Ricardo, coorient. III. Título

CDD 634.9

MURILO CORREIA SANTOS

OSMOCONDICIONAMENTO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO GERMINATIVA
EM SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. &
Cambess.) A. Robyns

Aprovado em: 24 de maio de 2024.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Eliane Cristina Sampaio de Freitas

Departamento de Ciência Florestal - Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Francival Cardoso Felix

Departamento de Ciência Florestal - Universidade Federal Rural de Pernambuco

Orientador:

Prof. Dr. Marcone Moreira Santos

Departamento de Ciência Florestal - Universidade Federal Rural de Pernambuco

RECIFE

Pernambuco – Brasil

Maio – 2024

À minha mãe Rose, meu pai Tony, por nunca medirem esforços para que eu conseguisse alçar voos mais altos em busca dos meus sonhos. A minha companheira Ylanna pelo apoio incondicional e por acreditar sempre no meu potencial.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Deus que eu acredito, pela dádiva da vida e por estar comigo em todos os momentos me guiando e protegendo.

Em especial aos meus pais Tony e Rose, por todo amor, carinho, dedicação, apoio nas minhas decisões, contribuindo para as vitórias da minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), pelo ensino e condições de trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental - NEMA/UNIVASF, o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF e o Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR pela disponibilização das sementes.

Ao meu orientador, Marcone Moreira Santos, pela orientação, paciência, ensinamentos, dedicação, incentivo e amizade construída durante o desenvolvimento dessa pesquisa e trajetória no curso.

Ao meu coorientador, Ricardo Gallo pela contribuição e apoio na orientação deste trabalho.

Aos amigos que me ajudaram nessa jornada, em especial Rodrigo, Jaílson, Erika e Ramon, obrigado pelo apoio e por estarem sempre à disposição. Vocês tornaram a minha passagem na UFRPE mais leve e divertida.

À minha companheira, Ylanna Mendes, pelo amor, carinho, paciência, apoio, incentivo, dedicação e por estar comigo nos momentos mais importante da minha vida.

A todos os que contribuíram, direta ou indiretamente, para que esse momento não fosse somente um sonho, mas a realização de uma conquista. Muito obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Geral	17
2.2. Específicos	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1. <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns.....	18
3.2. Germinação de sementes	20
3.3. Estresse hídrico na germinação de sementes e crescimento de mudas	21
3.4. Osmocondicionamento e recuperação germinativa ao estresse hídrico	22
4. REFERÊNCIAS	23

CAPÍTULO I

OSMOCONDICIONAMENTO, GERMINAÇÃO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns SOB ESTRESSE HÍDRICO.....	26
1. INTRODUÇÃO.....	29
2. OBJETIVOS.....	31
2.1. Geral	31
2.2. Específicos	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Área de estudo.....	32
3.2. Determinação do teor de água.....	32
3.3. Desinfestação das sementes	32
3.4. Curva de embebição	33
3.5. Germinação.....	33
3.6. Tempo médio de germinação.....	34
3.7. Índice de velocidade de germinação	34
3.8. Velocidade média de germinação	34
3.9. Osmocondicionamento e potencial de recuperação das sementes	34
3.10. Análise estatística	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Teor de água.....	36
4.2. Curva de embebição	36

4.3. Germinação de sementes	41
4.4. Osmocondicionamento.....	43
5. CONCLUSÃO	47
6. REFERÊNCIAS	48

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E MEMÓRIA HÍDRICA EM MUDAS DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns PRODUZIDAS COM SEMENTES

OSMOCONDICIONADAS.....	51
1. INTRODUÇÃO.....	54
2. OBJETIVOS.....	56
2.1. Geral	56
2.2. Específico.....	56
3. MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1. Área de estudo	57
3.2. Desinfestação das sementes	57
3.3. Instalação e condução do experimento.....	57
3.4. Porcentagem de emergência	59
3.5. Índice de velocidade de emergência.....	59
3.6. Velocidade média de emergência	59
3.7. Tempo médio de emergência.....	60
3.8. Temperatura foliar, clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> , massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular	60
3.9. Análise estatística	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1. Porcentagem de emergência	62
4.2. Altura e diâmetro do coleto	63
4.3. Temperatura foliar e clorofilas <i>a</i> e <i>b</i>	65
4.4. Massa fresca e seca da parte aérea e raiz	68
4.5. Relação MSPA/MSR e IQD.....	70
5. CONCLUSÃO	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7. REFERÊNCIAS	76

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1 – Árvore (A), fruto (B), sementes (C) e flor (D) de <i>Pseudobombax marginatum</i>	19
--	-----------

CAPÍTULO I

OSMOCONDICIONAMENTO, GERMINAÇÃO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss. & Cambess) A. Robyns SOB ESTRESSE HÍDRICO	26
--	-----------

Figura 1 – Curvas de embebição das sementes de <i>Pseudobombax marginatum</i> em soluções de polietilenoglicol (PEG 6000), nos potenciais de 0 (controle), -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa.....	37
--	-----------

Figura 2 – Curva de embebição das sementes de <i>Pseudobombax marginatum</i> nos tratamentos controle (0,0 MPa) e potencial osmótico de -0,1 MPa, com protrusão da raiz primária das sementes de 8% após 168 h e 4% 192 h, respectivamente.....	39
--	-----------

Figura 3 – Germinação das sementes após o osmocondicionamento nos potenciais hídricos (-0,2; -0,4; -0,6; -0,8 e -1,0 MPa) por 30 e 60 dias de <i>Pseudobombax marginatum</i>	44
---	-----------

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E MEMÓRIA HÍDRICA EM MUDAS DE <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns PRODUZIDAS COM SEMENTES OSMOCONDICIONADAS	51
--	-----------

Figura 1 – Produção de mudas da espécie <i>Pseudobombax marginatum</i> com sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas, submetidas a quatro diferentes tratamentos com relação ao regime hídrico - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....	58
--	-----------

Figura 2 – Diâmetro do coleto de mudas oriundas de sementes osmocondicionadas (A) e não osmocondicionadas (B) de <i>P. marginatum</i> em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....	63
---	-----------

Figura 3 – Temperatura foliar de mudas oriundas de sementes osmocondicionadas (A) e não osmocondicionadas (B) de <i>P. marginatum</i> em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....	66
Figura 4 – Clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> de mudas oriundas de sementes osmocondicionadas (A e B) e não osmocondicionadas (C e D) de <i>P. marginatum</i> em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....	67
Figura 5 – Massa fresca do sistema radicular (A), massa fresca da parte aérea (B), massa seca do sistema radicular (C), massa seca da parte aérea (D), das mudas de <i>Pseudobombax marginatum</i> em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....	69
Figura 6 – Relação massa seca parte aérea e raízes (A) e índice de qualidade de Dickson (B) das mudas de <i>Pseudobombax marginatum</i> em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....	70
Figura 7 – Coeficiente de correlação de Pearson (<i>r</i>) entre os parâmetros morfofisiológicos das mudas produzidas com sementes osmocondicionadas de <i>Pseudobombax marginatum</i> em diferentes regimes hídricos.....	71

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

OSMOCONDICIONAMENTO, GERMINAÇÃO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss. & Cambess) A. Robyns SOB ESTRESSE HÍDRICO.....	26
---	----

Tabela 1 – Porcentagem de germinação (%G), tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade média de germinação (VMG) das sementes de *Pseudobombax marginatum* em diferentes potenciais osmóticos.....42

Tabela 2 – Valores de germinação (%G), Índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e velocidade média de germinação (VMG) de sementes de *P. marginatum* submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento em solução de PEG 6000.....45

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E MEMÓRIA HÍDRICA EM MUDAS DE <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns PRODUZIDAS COM SEMENTES OSMOCONDICIONADAS	51
--	----

Tabela 1 – Relação entre altura e diâmetro do coleto das mudas de *Pseudobombax marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).....64

SANTOS, MURILO CORREIA, **OSMOCONDICIONAMENTO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO GERMINATIVA EM SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns.** 2024. Orientador: Marcone Moreira Santos. Coorientador: Ricardo Gallo.

RESUMO

Estudos sobre mudanças climáticas preveem a ocorrência de secas mais intensas e prolongadas em várias regiões, especialmente nas semiáridas. Dada a importância da água para a germinação e sobrevivência das espécies vegetais, torna-se essencial compreender os aspectos relacionados à germinação e ao desenvolvimento das espécies nativas dessas regiões sob diferentes condições hídricas. Entre essas espécies, a *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns, destaca-se por seus múltiplos usos, desde programas de reflorestamento e produção madeireira até a medicina popular para tratamentos fitoterápicos. No entanto, apesar de seu potencial, há uma carência de pesquisas sobre a fisiologia e germinação das sementes e do desenvolvimento de mudas dessa espécie. À vista disso, objetivamos com esse trabalho: avaliar os efeitos do estresse hídrico na embebição e germinação das sementes de *P. marginatum*; o efeito do osmocondicionamento na capacidade de recuperação do poder germinativo das sementes, o desenvolvimento e crescimento inicial das mudas produzidas com sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas em condições restrição hídrica, e a possível ocorrência de memória hídrica em sementes osmocondicionadas. No teste de germinação a indução do estresse hídrico, ocorreu através da solução de PEG 6000 em diferentes níveis de potenciais osmóticos: 0, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa, sendo avaliadas a curva de embebição, porcentagem de germinação (%G), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e velocidade média de germinação (VMG). Posteriormente, para avaliar o efeito do osmocondicionamento no crescimento inicial e ocorrência de memória hídrica das mudas produzidas a partir de sementes osmocondicionadas por 30 dias em solução de PEG (-1,0 MPa), foram definidos quatro regimes de irrigação: controle (com irrigação diária), irrigação a cada 3 dias, irrigação a cada 6 dias e irrigação a cada 9 dias, iniciados a partir da estabilização das mudas (45 dias após semeadura). A partir dos 45 dias, foram realizadas quinzenalmente as medições de altura, diâmetro do coleto, clorofila *a* e *b*, temperatura foliar. Ao final do experimento (135 dias) foram obtidas as medidas de comprimento da parte aérea, comprimento da maior raiz, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, índice de qualidade de Dickson. O delineamento utilizado para ambos os testes foi o inteiramente casualizado, sendo os dados submetidos à análise estatística (ANOVA). Baseado nas avaliações propostas, identificou-se qual regime de irrigação afetou significativamente a embebição e germinação das sementes de *P. marginatum*, sendo a irrigação diária, o tratamento que possibilitou os melhores índices de germinação (86%). O osmocondicionamento das sementes por 30 dias a -1,0 MPa favoreceu a recuperação da germinação e proporcionou maior IVG. O osmocondicionamento não influenciou significativamente na emergência, no crescimento e desenvolvimento inicial das mudas em função dos diferentes níveis de irrigação. Quando avaliados isoladamente, a irrigação foi o único fator que afetou o desenvolvimento inicial das mudas de *P. marginatum*. Por fim, não foi observada a ocorrência de memória hídrica em função do osmocondicionamento.

Palavras-chaves: Sementes Florestais; Estresse Hídrico; Condicionamento Fisiológico; Memória Hídrica.

SANTOS, MURILO CORREIA, **OSMOCONDITIONING AND GERMINATION RECOVERY CAPACITY IN SEEDS AND SEEDLINGS OF *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns.** 2024. Advisor: Marccone Moreira Santos. Co-advisor: Ricardo Gallo.

ABSTRACT

Studies on climate change predict the occurrence of more intense and prolonged droughts in several regions, especially in semiarid. Given the importance of water for the germination and survival of plant species, it is essential to understand the aspects related to the germination and development of native species in these regions under different water conditions. Among these species, *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns, stands out for its multiple uses, from reforestation programs and timber production to folk medicine for phytotherapeutic treatments. However, despite its potential, there is a lack of research on the physiology and germination of seeds and seedling development of this species. In view of this, we aimed to: evaluate the effects of water stress on the imbibition and germination of *P. marginatum* seeds; the effect of osmoconditioning on the ability to recover the germination power of seeds, the development and initial growth of seedlings produced with osmoconditioned and not osmoconditioned seeds under water restriction conditions, and the possible occurrence of water memory in osmoconditioned seeds. In the germination test, water stress was induced through the PEG 6000 solution at different levels of osmotic potentials: 0, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 and -1,0 MPa, with the imbibition curve, germination percentage (%G), germination speed index (IVG), average germination time (TMG) and average germination speed (VMG) being evaluated. Subsequently, to evaluate the effect of osmoconditioning on the initial growth and occurrence of water memory of seedlings produced from seeds osmoconditioned for 30 days in PEG solution (-1,0 MPa), four irrigation regimes were defined: control (with daily irrigation), irrigation every 3 days, irrigation every 6 days and irrigation every 9 days, starting from the stabilization of the seedlings (45 days after sowing). From 45 days onwards, measurements of height, stem diameter, chlorophyll a and b, and leaf temperature were taken every two weeks. At the end of the experiment (135 days), measurements of shoot length, length of the largest root, fresh and dry mass of the shoot and root system, and Dickson quality index were obtained. The design used for both tests was completely randomized, and the data were subjected to statistical analysis (ANOVA). Based on the proposed evaluations, it was identified which irrigation regime significantly affected the imbibition and germination of *P. marginatum* seeds, with daily irrigation being the treatment that allowed the best germination rates (86%). Osmoconditioning of seeds for 30 days at -1,0 MPa favored the recovery of germination and provided greater IVG. Osmoconditioning did not significantly influence the emergence, growth and initial development of seedlings according to the different irrigation levels. When evaluated in isolation, irrigation was the only factor that affected the initial development of *P. marginatum* seedlings. Finally, the occurrence of water memory due to osmoconditioning was not observed.

Keywords: Forest Seeds; Hydrical Stress; Physiological Conditioning; Water Memory.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O desafio imposto pelas mudanças climáticas globais é uma preocupação central no debate científico contemporâneo. O mais recente relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) destaca a crescente intensificação dos eventos climáticos extremos como uma manifestação direta dessas transformações, resultado de uma combinação complexa de fatores naturais e antropogênicos. Entre os efeitos mais significativos estão o aumento da temperatura média e a alteração no regime hídrico, com consequências que incluem chuvas mais intensas e prolongados períodos de seca (Ipcc, 2021).

Essas mudanças têm impacto significativo nos ecossistemas, agravando desequilíbrios ecológicos e aumentando os riscos de extinção de espécies, além de dificultar a adaptação das populações naturais aos novos ambientes (Silva *et al.*, 2022). Em particular, os biomas localizados em regiões de clima semiárido, como a Caatinga, são altamente vulneráveis a essas transformações (Giulietti *et al.*, 2004; Garcia; Farias, 2020).

A Caatinga, que abrange grande parte do nordeste brasileiro, é caracterizada por um clima semiárido com baixa umidade e altas temperaturas, além de chuvas intermitentes, que impactam diretamente o desenvolvimento das plantas (Dantas *et al.*, 2011). Apesar dessas condições adversas, as espécies vegetais da Caatinga desenvolveram adaptações morfológicas e fisiológicas que as tornam resilientes ao estresse hídrico e às altas temperaturas, desempenhando um papel fundamental no progresso regional (Kiill *et al.*, 2019).

Entre as espécies encontradas na Caatinga, destaca-se a *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns, popularmente conhecida como embiratanha. Esta planta da família Malvaceae, subfamília Bombacoidea, possui uma distribuição ampla no Brasil e em países da América do Sul, sendo utilizada de diversas formas, desde o reflorestamento até a medicina popular (Amorim *et al.*, 2009; Carvalho-Sobrinho; Yoshikawa, 2020). No entanto, apesar de seu potencial ambiental e econômico, há uma escassez de estudos relacionados à análise de sementes e desenvolvimento de mudas dessa espécie.

O crescimento e desenvolvimento das plantas são influenciados por uma série de fatores bióticos e abióticos, sendo a água um dos mais importantes. Sua presença e disponibilidade afetam diretamente processos fisiológicos cruciais, como

fotossíntese, respiração, transpiração e germinação de sementes (Taiz *et al.*, 2017). Portanto, compreender a dinâmica das respostas fisiológicas e bioquímicas das sementes e plantas aos diferentes regimes hídricos é de fundamental importância para explicar a distribuição e manutenção das espécies nos ambientes naturais.

As sementes desempenham um papel essencial na perpetuação das espécies vegetais, sendo sua germinação um processo fundamental para o estabelecimento e a sobrevivência das plantas. No entanto, sob condições adversas, como estresse hídrico ou condições ambientais desfavoráveis, as sementes podem ter sua germinação comprometida (Bewley *et al.*, 2013; Marcos Filho, 2015). Nesse contexto, a capacidade de recuperação germinativa surge como um mecanismo adaptativo essencial, permitindo que as sementes superem condições adversas, possibilitando a germinação mesmo após exposição a períodos de estresse hídrico.

A recuperação germinativa pode ser definida como a capacidade das sementes de retomar o processo de germinação após terem sido expostas a condições desfavoráveis que inicialmente impediram sua germinação. Essa capacidade é mediada por uma série de mecanismos fisiológicos e bioquímicos que permitem às sementes superar os efeitos do estresse e iniciar o processo de germinação quando as condições ambientais se tornam favoráveis novamente (Bewley; Black, 1994; Bewley *et al.*, 2013).

Estudos têm demonstrado que a recuperação germinativa pode ser influenciada por uma série de fatores, incluindo o tipo e a intensidade do estresse, a duração da exposição ao estresse, a espécie vegetal e as características genéticas das sementes. Compreender os mecanismos subjacentes à recuperação germinativa é de fundamental importância não apenas para a ecologia das plantas, mas também para aplicações práticas, como a agricultura e a conservação da biodiversidade (Donohue, 2005; Fleta-Soriano *et al.*, 2015).

O osmocondicionamento das sementes surge como uma estratégia promissora para explorar os mecanismos de recuperação em estudos de germinação. Essa técnica busca compreender como a pré-hidratação das sementes em soluções osmóticas influencia sua resposta ao estresse hídrico durante a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas. Apesar dos avanços observados em outras espécies, como indicado por Ferreira *et al.* (2022), ainda há uma lacuna significativa de estudos relacionados a *Pseudobombax marginatum*, especialmente no que diz respeito aos mecanismos fisiológicos associados à tolerância à seca.

Considerando o potencial agravamento das secas decorrente das mudanças climáticas no semiárido brasileiro, bem como a escassez de informações sobre os mecanismos fisiológicos de germinação das espécies nativas em condições de déficit hídrico, torna-se evidente a necessidade de mais pesquisas nessa área. Portanto, este estudo teve como objetivo primordial preencher essa lacuna, realizando uma análise das respostas de *P. marginatum* ao estresse hídrico, explorando o potencial do osmocondicionamento para promover a tolerância à seca, com o intuito de melhorar a eficiência no estabelecimento dessa espécie.

Para alcançar esse objetivo, o presente estudo foi dividido em dois capítulos. No Capítulo I, foram analisadas as consequências do estresse hídrico simulado pelo polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) na embebição e germinação das sementes de *P. marginatum*, bem como sua capacidade de recuperação após o estresse. Já no Capítulo II, foi avaliado o desenvolvimento e crescimento inicial de mudas de *P. marginatum* originadas de sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas, sob diferentes regimes de irrigação, com foco na elucidação dos mecanismos envolvidos na recuperação germinativa e suas implicações para a propagação e perpetuação dessa espécie em ambientes semiáridos, considerando seu potencial econômico e ambiental para essas regiões.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a resposta germinativa e a capacidade de recuperação das sementes, os efeitos do osmocondicionamento, e o crescimento inicial de mudas de *Pseudobombax marginatum* sob diferentes condições de disponibilidade hídrica para aprimorar técnicas de beneficiamento de sementes e produção de mudas de qualidade.

2.2. Específicos

- Avaliar e definir curvas de embebição das sementes em condições de estresse hídrico induzido por PEG 6000;
- Avaliar a porcentagem, velocidade e tempo médio de germinação das sementes em concentrações de PEG 6000;
- Verificar os efeitos do osmocondicionamento na velocidade e uniformidade da germinação;
- Definir a maior concentração e tempo de exposição ao PEG 6000 que possibilita a recuperação das sementes;
- Avaliar o desenvolvimento inicial de mudas *P. marginatum* sob o efeito da restrição hídrica, simulado por diferentes regimes de irrigação;
- Caracterizar morfológicamente e fisiologicamente as mudas de *P. marginatum* em variadas condições de disponibilidade hídrica;
- Avaliar ocorrência de memória hídrica em mudas de *P. marginatum* produzidas com sementes osmocondicionadas em diferentes regimes de irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

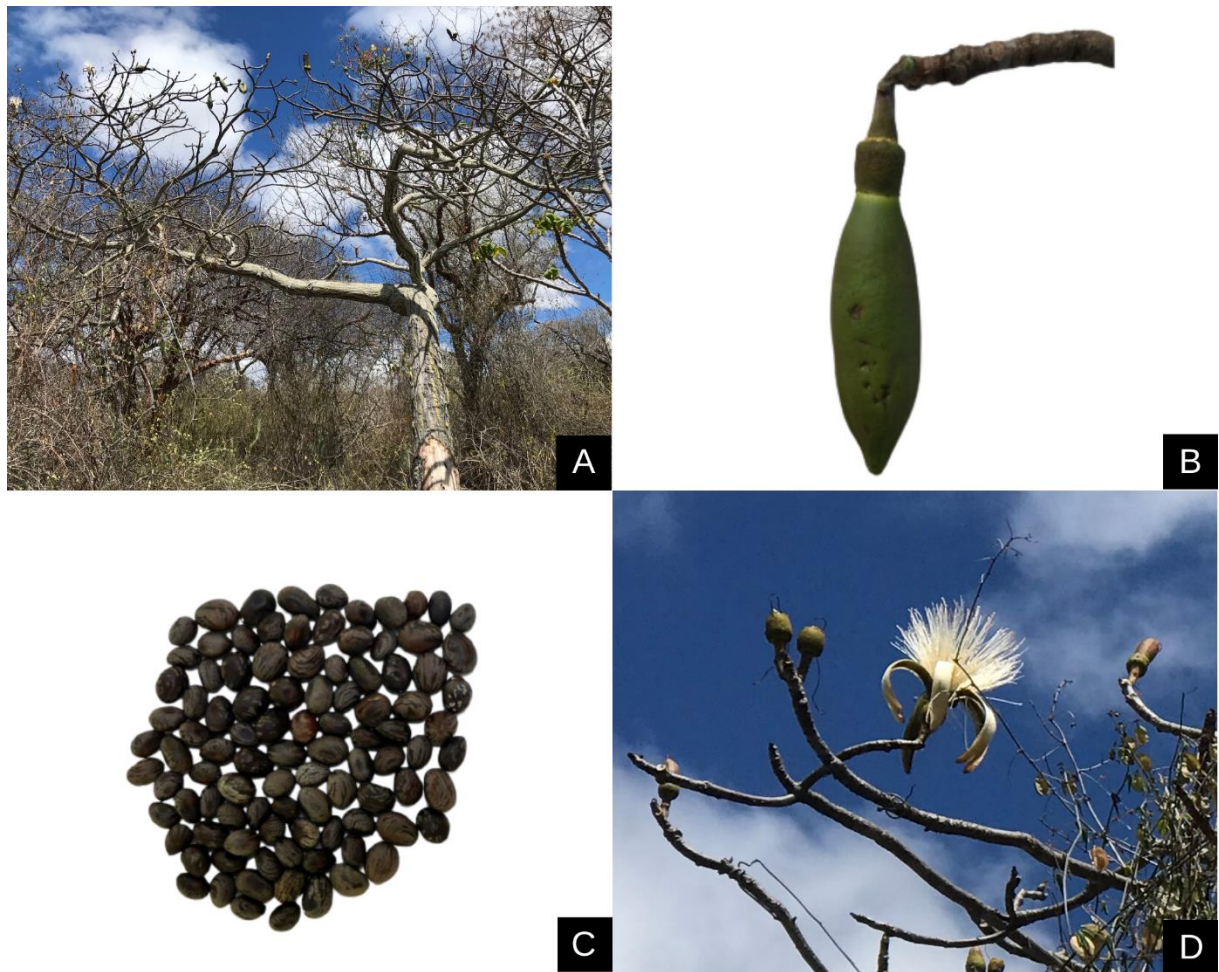
3.1. *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns

A espécie *Pseudobombax marginatum*, conhecida popularmente como embiratanha ou imbiricu, possui distribuição exclusiva na América do Sul, sendo encontrada em diversas regiões do Brasil, especialmente nos domínios fitogeográficos do Cerrado, Pantanal e Caatinga (Carvalho-Sobrinho; Yoshikawa, 2020). No bioma Caatinga, é comumente encontrada em áreas de transição entre a Caatinga e a floresta montana, assim como em serras (Amorim *et al.*, 2009).

Esta espécie arbórea caracteriza-se por sua aparência peculiar, podendo atingir até 12 metros de altura, com tronco pouco ramificado e ritidoma cinza com estrias longitudinais verdes (Figura 1A). Suas folhas são compostas, digitadas, com 5 folíolos sésseis a subsésseis, obovado-oblongos e membranáceos a cartáceos (Amorim *et al.*, 2009). As flores, solitárias e brancas, geralmente ocorrem nas extremidades dos ramos, apresentando um cálice campanulado com ápice truncado e pétalas lineares a oblongo-lineares. Seu fruto é do tipo cápsula obovóide (Figura 1B), com 10 a 16 cm de comprimento, e registrando a ocorrência de floração e frutificação ao longo de praticamente todo o ano (Carvalho-Sobrinho; Yoshikawa, 2020).

As sementes de *P. marginatum* (Figura 1C) são arredondadas, com superfície firme e textura lisa, de coloração marrom escuro, com dimensões que variam de 0,56 a 0,80 cm de comprimento, 0,39 a 0,63 cm de largura e 0,36 a 0,53 cm de espessura. Sua dispersão é predominantemente anemocórica, e a produção de frutos ocorre apenas por reprodução cruzada, sendo os principais agentes polinizadores morcegos e mariposas (Urquiza *et al.*, 2019).

Figura 1 – Árvore (A), fruto (B), sementes (C) e flor (D) de *Pseudobombax marginatum*.



Fonte: Santos (2022)

Além de sua importância ecológica, a *P. marginatum* apresenta potencialidades comerciais diversas. Sua madeira leve e macia é utilizada na fabricação de caixotes, brinquedos e calçados, enquanto sua copa ornamental e flores vistosas conferem-lhe um potencial paisagístico significativo (Lorenzi, 1998). A casca da espécie é empregada na medicina popular devido às suas propriedades farmacológicas, incluindo ação anti-inflamatória, tratamento de úlceras e gastrites, e mesmo como anticoncepcional, com base na água extraída da casca do caule (Paulino *et al.*, 2012).

P. marginatum além de desempenhar um papel importante na biodiversidade e ecologia dos ambientes em que ocorre, apresenta-se como uma espécie com grande potencial de uso sustentável, tanto na indústria quanto na medicina popular, destacando-se como um recurso potencial para as comunidades locais e para a conservação da flora brasileira.

3.2. Germinação de sementes

A germinação das sementes é um dos estágios mais importantes do ciclo de vida das plantas marcado pela retomada das atividades metabólicas após a absorção de água (Bewley *et al.*, 2013; De Castro; Hilhorst, 2004). A qualidade fisiológica das sementes está intrinsecamente ligada à disponibilidade de água, sendo este o principal fator que influencia o processo germinativo (Carvalho; Nakagawa, 2012).

O início da germinação requer a disponibilidade de água para desencadear uma série de reações metabólicas responsáveis pela ativação do desenvolvimento embrionário (Beckert; Silva, 2002; Bewley *et al.*, 2013; Borges; Rena, 1993). Esse processo começa com a embebição da semente e a ativação do metabolismo do tecido embrionário, incluindo a produção de energia por meio da glicólise e a mobilização de substâncias de reserva no endosperma (Larcher, 2000; Scremin-Dias *et al.*, 2006). No entanto, a escassez de água pode atrasar ou até mesmo impedir esses processos, exigindo um nível mínimo de hidratação para a germinação ocorrer (Verslues *et al.*, 2006).

Segundo Taiz *et al.* (2017) o processo de embebição em sementes ortodoxas geralmente ocorre em três fases, sendo a fase inicial definida por uma rápida absorção de água que proporciona o aumento do teor de água da semente, seguida por mudanças na permeabilidade das membranas e o vazamento de metabólitos. A fase II, que tem duração relativa entre as espécies, é caracterizada pela estabilização do teor de água da semente e a ativação dos processos metabólicos essenciais para a germinação. Por fim, na fase III, inicia-se o crescimento do eixo embrionário e a retomada da absorção da água do meio, que permanece constante, na maioria dos casos, até a protrusão da raiz primária.

O entendimento das atividades fisiológicas e bioquímicas durante a germinação é essencial para o estabelecimento de protocolos que otimizem a germinação e promovam a produção de mudas resistentes a condições adversas (Taiz *et al.*, 2017; Oliveira Junior, 2021). Em particular, para espécies nativas, como *Pseudobombax marginatum*, a falta de protocolos específicos para análise de sementes torna a compreensão da fisiologia da germinação e dos mecanismos de tolerância ao estresse hídrico ainda mais desafiadora. Portanto, este estudo visou preencher essa lacuna, investigando a curva de embebição e o comportamento germinativo das sementes de *P. marginatum*, com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre a

fisiologia da germinação e os mecanismos reguladores desse processo vital no ciclo de vida das plantas.

3.3. Estresse hídrico na germinação de sementes e crescimento de mudas

O estresse hídrico é um dos principais fatores ambientais que influenciam a germinação de sementes e o crescimento inicial de mudas. Sua importância reside na significativa interação que exerce sobre os processos fisiológicos e bioquímicos que regulam esses estágios críticos do ciclo de vida das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

A absorção de água pelas sementes é o primeiro passo essencial para o processo germinativo, e a disponibilidade de água no ambiente desempenha um papel fundamental nesse processo (Taiz *et al.*, 2017). No entanto, em condições de estresse hídrico, a capacidade das sementes de absorver água e iniciar a germinação é comprometida (Marcos Filho, 2005). O estresse hídrico pode levar a uma diminuição na taxa de germinação, bem como afetar a velocidade e uniformidade do processo (Carvalho; Nakagawa, 2012).

As mudanças na pressão osmótica e a redução na disponibilidade de água na germinação podem desencadear respostas adaptativas nas plantas. Isso inclui a diminuição na abertura estomática e no crescimento da parte aérea, juntamente com a acumulação de solutos compatíveis para manter o turgor celular (Avrella, 2016; Smirnov, 2014). Essas respostas são essenciais para mitigar os efeitos do estresse hídrico e garantir a sobrevivência das plântulas.

Além disso, o estresse hídrico pode afetar negativamente o desenvolvimento inicial das mudas. A redução na disponibilidade de água no solo pode limitar a absorção de nutrientes e comprometer o crescimento radicular (Schorn; Formento, 2003). Como resultado, as mudas podem apresentar menor vigor e resistência ao estresse ambiental, afetando sua capacidade de estabelecer-se no campo após o plantio (Joca, 2020).

Portanto, compreender os mecanismos fisiológicos e bioquímicos subjacentes às respostas adaptativas das sementes diante do estresse hídrico é de suma importância para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e conservação de recursos vegetais, especialmente em espécies como *Pseudobombax marginatum*. Essa compreensão permite não apenas aprimorar a capacidade de previsão e mitigação dos impactos do estresse hídrico sobre a germinação e o crescimento inicial

das plantas, mas também promover a sustentabilidade e resiliência dos ecossistemas terrestres diante dos desafios impostos pelas mudanças ambientais globais.

3.4. Osmocondicionamento e recuperação germinativa ao estresse hídrico

O osmocondicionamento, proposto inicialmente por Heydecker, Higgins e Gulliver (1973), é uma técnica que consiste na imersão das sementes em soluções de baixo potencial osmótico por um período determinado, permitindo que iniciem a embebição, mas interrompendo o processo quando atingem equilíbrio com o potencial osmótico da solução. Essa estratégia tem sido utilizada para mitigar os efeitos adversos do estresse ambiental, incluindo o estresse hídrico, podendo melhorar a taxa e uniformidade de germinação, dependendo do contexto do estudo (Matias *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2015).

As sementes de espécies nativas de ambientes áridos e semiáridos têm demonstrado alta taxa de sobrevivência durante períodos de seca, conservando características fisiológicas resultantes da hidratação descontínua, indicando uma possível resposta à recuperação germinativa (Lima, 2019). Os mecanismos de recuperação germinativa são um componente significativo da ecologia comportamental das plantas, caracterizando-se pela capacidade das sementes de germinarem após enfrentarem condições adversas, como o estresse hídrico. Esse processo implica na capacidade das sementes de se recuperarem metabolicamente e reiniciarem o processo de germinação quando as condições ambientais se tornam favoráveis novamente (Fleta-Soriano *et al.*, 2015; Trewavas, 2005).

O interesse em compreender os mecanismos subjacentes à recuperação germinativa é crescente, dada sua relevância na fisiologia do estresse das plantas. No entanto, ainda há lacunas no entendimento dos mecanismos envolvidos na recuperação germinativa ao estresse, tornando necessários estudos adicionais (Bruce *et al.*, 2007; Fleta-Soriano *et al.*, 2015). Nesse contexto, o presente estudo teve como foco investigar os indícios desses mecanismos de recuperação germinativa frente ao estresse hídrico, especialmente relacionadas às atividades fisiológicas, da espécie *Pseudobombax marginatum*. Portanto, é esperado que os resultados contribuam não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para a produção de mudas de qualidade, aumentando as chances de estabelecimento dos plantios dessa espécie.

4. REFERÊNCIAS

- AMORIM, B. S. *et al.* **Malvaceae s.l.** In: ALVES, M. *et al.* Flora de Mirandiba. Recife: Associação de Plantas do Nordeste, p. 243-260, 2009.
- AVRELLA, E. D. **Estresse hídrico na germinação de sementes e crescimento de mudas de *Mimosa scrabella* Benth.** 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- BECKERT, O. P.; SILVA, W. R. O uso da hidratação para estimar o desempenho de sementes de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 61-69, 2002.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy.** Nova York: Springer, p. 392, 2013.
- BORGES, E. E. L; RENA, A. B. Germinação de sementes. In: AGUIAR, I. B. de; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. (Coord.). **Sementes florestais tropicais.** Brasília, DF: ABRATES, p. 83-135, 1993.
- BRUCE, T. J. A.; MATTHES, M. C.; NAPIER, J. A.; PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v. 173, p. 603-608, 2007.
- CARVALHO, N. M; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção.** 5.ed. Jaboticabal-SP: UNESP, p. 590, 2012.
- CARVALHO-SOBRINHO, J. G.; YOSHIKAWA, V. N. ***Pseudobombax* in Flora do Brasil 2020.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB25762>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- DANTAS, C. V. S; SILVA, I. B.; PEREIRA, G. M.; MAIA, J. M.; LIMA, J. P. M. S.; MACEDO, C.E.C. Influência da salinidade e déficit hídrico na germinação de sementes de *Carthamus tinctorius* L. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.3, p.574-582. 2011.
- DONOHUE, K. Seeds and seasons: interpreting germination timing in the field. In Ecology of seed dormancy and germination. **Academic Press**, p. 362-392, 2005.
- FERREIRA, T. C.; PATRICIO, M. C.; OLIVEIRA, M. R. G.; PEREZ-MARIM, A. M. Promoção de vigor e germinação em sementes da Caatinga pela utilização da técnica de priming. **Biofix scientific jornal**, v. 7, n.1, p. 37-42, 2022.
- FLETA-SORIANO, E.; PINTÓ-MARIJUAN, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Evidence of Drought Stress Memory in the Facultative CAM, *Aptenia cordifolia*: Possible Role of Phytohormones. **Plos one**. 2015.
- HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; GULLIVER, R. Accelerated Germination by Osmotic Seed Treatment. **Nature**, v. 246, p. 42-44, 1973.

IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. 2021.

JOCA, T. A. C. **Respostas fisiológicas envolvidas na tolerância ao déficit hídrico e estresse luminoso Orchidaceae epífitas**. 2020. 114p. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

KIILL, L. H. P. *et al.* **Biodiversidade da Caatinga como potencialidade para a agricultura familiar**. In: MELO, R. F. de; VOLTOLINI, T. V. (Org.). Agricultura familiar dependente de chuva no semiárido. Brasília, DF: Embrapa, p. 15-43, 2019.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, p. 531, 2000.

LIMA, A. T. **Memória hídrica de sementes: implicações ecofisiológicas durante a germinação e o desenvolvimento inicial de espécies da Caatinga**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. vol. 2. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum 2º ed. 384p. 1998.

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

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, p.659, 2015.

MATIAS, J. R. *et al.* Hidrocondicionamento como indutor de tolerância à salinidade em sementes de girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 255-260, 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, J. L. **Perfis bioquímico e fisiológico da maturação, longevidade e germinabilidade de sementes de Aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolia* Raddi)**. 2021. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

PAULINO, R da C. *et al.* Medicinal plants at the sítio do Gois, Apodi, Rio Grande do Norte state, Brazil. **Rev. bras. farmacogn.** n. 22, p. 29-30, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/xFVVNxSXzWwzNgWcDjxmB3c/?lang=en>. Acesso em: 28 mar. 2022.

SCHORN, L. A.; FORMENTO, S. **Silvicultura II: produção de mudas florestais**. Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Departamento de Engenharia Florestal, Blumenau, 2003.

SCREMIN-DIAS, E. *et al.* **Produção de mudas de espécies florestais nativas**. Campo Grande: UFMS, p.59, 2006.

SILVA, L. F.; BATTAZZA, A.; DE SOUZA, N. F.; SOUZA, N. F. D.; & ROCHA, N. S. Impactos das ações antrópicas aos Biomas do Brasil: artigo de revisão. **Meio ambiente** (brasil), v.4, n. 1, p. 21–44, 2022.

SINGH, Sanjay *et al.* Assessment of multiple tolerance indices for salinity stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agricultural Science**, v. 7, n. 3, p. 49, 2015. DOI: 10.5539 / jas.v7n3p49

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 888, 2017.

TREWAVAS, A. Green plants as intelligent organisms. **Trends Plant Sci.** v. 10, p. 413–419, 2005.

URQUIZA, N.G. *et al.* **Guia de propágulos e plântulas da Caatinga**. Petrolina-PE: Ed. Cogito, 2019.

VERSLUES, P. E. *et al.* Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, Oxford, v. 45, p. 523-539, 2006.

CAPÍTULO I

OSMOCONDICIONAMENTO, GERMINAÇÃO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE SEMENTES DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess) A. Robyns SOB ESTRESSE HÍDRICO

SANTOS, MURILO CORREIA, **OSMOCONDICIONAMENTO, GERMINAÇÃO E CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE SEMENTES DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns SOB ESTRESSE HÍDRICO.** 2024. Orientador: Marcone Moreira Santos. Coorientador: Ricardo Gallo.

RESUMO

Pseudobombax marginatum é uma espécie nativa que possui relevância ambiental, econômica e social. No entanto, as condições ambientais naturais provocam estresses que podem inibir o desenvolvimento e sobrevivência das plantas. À vista disso, objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos do estresse hídrico na embebição e germinação de sementes de *P. marginatum*, bem como verificar a capacidade de recuperação de sementes osmocondicionadas em solução de PEG 600. A indução do estresse hídrico no teste de germinação ocorreu através da solução de PEG 6000 em diferentes níveis de potenciais osmóticos: 0, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa, sendo avaliadas a curva de embebição, porcentagem de germinação (%G), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e velocidade média de germinação (VMG). Para avaliar os efeitos do osmocondicionamento e potencial de recuperação, as sementes foram condicionadas em caixas tipo gerbox, sobre duas folhas de papel germitest umedecidas com solução de PEG 6000 (nas concentrações de -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa) nos períodos de 30 e 60 dias. Posteriormente, as sementes foram postas para germinar em caixas tipo gerbox sobre duas folhas de papel germitest umedecidas com água destilada (2,5x peso do papel) em câmaras de germinação tipo BOD a 25 °C. Os experimentos foram conduzidos em DIC, sendo utilizadas 4 repetições com 25 sementes para cada tratamento. Os resultados mostraram que houve redução na velocidade de embebição, porcentagem e índices de germinação das sementes, conforme aumento da concentração de PEG 6000, tornando-se nula de -0,2 MPa até -1,0 MPa e, além disso, não foi possível identificar claramente as fases na curva de embebição. Por outro lado, as sementes osmocondicionadas mostraram potencial de recuperação na germinação, sendo que aquelas submetidas a -1,0 MPa por 30 dias apresentaram melhor potencial de recuperação.

Palavras-chaves: Embiratanha; Potencial Osmótico; Recuperação Germinativa.

SANTOS, MURILO CORREIA, **OSMOCONDITIONING, GERMINATION AND RECOVERY CAPACITY OF *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns SEEDS UNDER WATER STRESS**. 2024. Advisor: Marcione Moreira Santos. Co-advisor: Ricardo Gallo.

ABSTRACT

Pseudobombax marginatum is a native species with environmental, economic and social relevance. However, environmental conditions cause stresses that can inhibit plant development and survival. In view of this, the objective of this study was to evaluate the effects of water stress on the imbibition and germination of *P. marginatum* seeds, as well as to verify the recovery capacity of seeds osmoconditioned in PEG 600 solution. The induction of water stress in the germination test occurred through the PEG 6000 solution at different levels of osmotic potentials: 0, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 and -1,0 MPa, with the imbibition curve, germination percentage (%G), germination speed index (IVG), mean germination time (TMG) and mean germination speed (VMG) being evaluated. To evaluate the effects of osmoconditioning and recovery potential, the seeds were conditioned in gerbox type boxes, on two sheets of germitest paper moistened with PEG 6000 solution (at concentrations of -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 and -1,0 MPa) for 30 and 60 days. Subsequently, the seeds were placed to germinate in gerbox type boxes on two sheets of germitest paper moistened with distilled water (2.5x paper weight) in BOD type germination chambers at 25 °C. The experiments were continuous in DIC, with 4 replicates with 25 seeds for each treatment. The results showed that there was a reduction in the imbibition speed, percentage and germination rates of the seeds, as the concentration of PEG 6000 increased, becoming null from -0,2 MPa to -1,0 MPa and, in addition, it was not possible to clearly identify the phases in the imbibition curve. On the other hand, the osmoconditioned seeds demonstrated potential for recovery in germination, and those subjected to -1,0 MPa for 30 days were considered to have the best recovery potential.

Keywords: Embiratanha; Osmotic Potential; Germinal Recovery.

1. INTRODUÇÃO

Pseudobombax marginatum (Malvaceae) é principalmente utilizada para fins medicinais e recuperação de áreas degradadas (Amorim *et al.*, 2009), uma espécie arbórea nativa da Caatinga, região de clima semiárido, caracterizado pela baixa disponibilidade de recursos hídricos (Alori *et al.*, 2020). Este fator é responsável pela ocorrência de um fenômeno que interfere de forma direta nas plantas, o estresse hídrico. O termo “estresse hídrico” refere-se à condição na qual a planta não absorve água suficiente para atender às suas necessidades fisiológicas, o que pode resultar em danos ao crescimento e desenvolvimento das espécies (Campos *et al.*, 2021; Cavalcante *et al.*, 2009).

A água é o recurso necessário para desencadear processos fundamentais como a hidratação dos tecidos, respiração, atividades metabólicas e germinação (Duarte *et al.*, 2018). A germinação de sementes, estágio inicial do desenvolvimento das plantas, é composta por processos metabólicos que dependem fundamentalmente da presença de água, uma vez que se inicia com a embebição da semente, que é a absorção de água suficiente para iniciar e garantir a germinação, e é encerrado com a protrusão da raiz primária (Taiz *et al.*, 2017).

O estudo da curva de embebição de água durante a germinação é de extrema importância, especialmente quando associado aos processos metabólicos. Compreender as fases da germinação auxilia na viabilidade de tratamentos de sementes em meios aquosos, como a imersão em soluções com reguladores vegetais ou condicionamento osmótico (Ferreira *et al.*, 2015). O condicionamento osmótico, ou osmocondicionamento, controla a embebição das sementes, permitindo a hidratação até que os potenciais hídricos das sementes e da solução aquosa atinjam o equilíbrio, ativando assim processos bioquímicos da germinação (Marcos Filho, 2015).

Conforme Missio *et al.* (2018), o propósito dessa técnica é reduzir o período de germinação e aumentar a porcentagem de emergência de plântulas em condições de estresse abiótico, como o hídrico. Assim, o osmocondicionamento pode ser de grande relevância na propagação de espécies florestais nativas em condições de escassez de água como mecanismo para otimizar o processo germinativo nesses ambientes adversos, sendo uma estratégia potencial para a contribuição na conservação e o manejo sustentável da biodiversidade vegetal em regiões como a Caatinga. No

entanto, estudos sobre osmocondicionamento em sementes florestais ainda são escassos (Medeiros *et al.*, 2020).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a resposta das sementes de *P. marginatum* em cenários simulados de déficit hídrico por meio do osmocondicionamento a fim de fornecer informações que contribuam com o alcance de índices germinativos significativos, auxiliando no desenvolvimento e preservação da espécie. Diante disso, o presente trabalho tem as seguintes hipóteses: (i) as condições de restrição hídrica influenciam no padrão de embebição e germinação das sementes de *P. marginatum*; (ii) as condições de osmocondicionamento alteram a capacidade de recuperação da germinação.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a germinação e a capacidade de recuperação das sementes, os efeitos do osmocondicionamento nas sementes de *P. marginatum* em condições de estresse hídrico.

2.2. Específicos

- Avaliar e definir curvas de embebição das sementes em condições de estresse hídrico induzido por PEG 6000;
- Avaliar a porcentagem, velocidade e tempo médio de germinação das sementes em concentrações de PEG 6000;
- Verificar os efeitos do osmocondicionamento sobre a germinação e velocidade de germinação;
- Definir a concentração e tempo de exposição ao PEG 6000 que possibilite a melhor recuperação da capacidade germinativa das sementes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes Florestais (LASF) do Departamento de Ciência Florestal (DCFL) da Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE), situado em Recife, PE, durante o período de julho a novembro de 2022. As sementes foram fornecidas pela Rede de Sementes do Projeto de Integração do São Francisco, sob a gestão do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), com sede em Petrolina, PE. Essas sementes foram coletadas em 6 matrizes no município de Salgueiro, PE, situada nas coordenadas geográficas 8° 7'1.20"S e 39°11'8.61"O, no ano de 2021, nas imediações das instalações do Projeto de Integração do São Francisco na região nordeste do Brasil.

3.2. Determinação do teor de água

Quatro amostras com aproximadamente 4,5 g cada, foram acondicionadas em recipientes de metal não corrosivo e pesadas em uma balança analítica de precisão de 0,001 g. Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a uma temperatura de 105 ± 3 °C por um período de 24 horas, conforme as diretrizes estabelecidas nas Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2009). Após a secagem, as amostras foram pesadas novamente para determinação do peso seco, a fim de calcular o teor de água utilizando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ de umidade } (U) = \frac{100(P - p)}{P - t}$$

Em que: P = peso inicial, correspondente ao peso do recipiente com sua tampa mais o peso da semente úmida; p = peso final, referente ao peso do recipiente com sua tampa mais o peso da semente seca; t = tara, indicando o peso do recipiente com sua tampa.

3.3. Desinfestação das sementes

As sementes foram submetidas a um processo de desinfestação utilizando uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,5% da solução comercial, contendo 2,5% de princípio ativo, durante um período de 5 minutos, sob agitação. Esse procedimento foi realizado de acordo com as orientações descritas nas Instruções para Análise de Sementes de Espécies Florestais (Brasil, 2013), especificamente para a espécie

Pseudobombax tomentosum (Mart.) A. Robyns, que pertence à mesma família botânica da *P. marginatum*.

Após a desinfestação, as sementes foram cuidadosamente lavadas três vezes em água destilada, garantindo a remoção completa de resíduos do agente desinfetante.

3.4. Curva de embebição

Foram colocadas 100 sementes para embeber em caixas do tipo Gerbox, sobre duas folhas de papel toalha germitest umedecidas (2,5 x o peso do papel) com solução de polietilenoglicol (PEG6000), nos potenciais de 0 (controle), -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa (Villela *et al.*, 1991), e mantidas em câmara de germinação a 25 °C. A pesagem das sementes foi realizada em balança de precisão 0,001 g, nos seguintes intervalos: a cada uma hora durante as primeiras 12 horas; a cada seis horas até completar 24 horas, e posteriormente em intervalos de 12 horas até que atingissem 50% da germinação para cada repetição (Oliveira, 2023).

A cada pesagem, as sementes foram retiradas das caixas, secas em papel absorvente e, em seguida, recolocadas na solução para continuidade do processo de embebição. Com os valores sucessivos da pesagem, calculou-se a porcentagem de ganho de água em relação ao peso inicial das sementes, com o objetivo de estabelecer as curvas de embebição para cada tratamento, conforme a seguinte equação:

$$\% \text{ de água absorvida} = \left(\frac{Pf - Pi}{Pi} \right) \times 100$$

Em que: Pi = peso inicial das sementes; Pf = peso final das sementes em cada tempo.

3.5. Germinação

A germinação foi avaliada nas mesmas condições experimentais descritas no item 3.4. Foram contabilizadas diariamente o número de sementes germinadas por um período de 30 dias, ou até que ocorresse a estabilização, definida como a ausência de variação nas análises por três dias consecutivos. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram protrusão da raiz primária maior ou igual a 2 mm.

O cálculo da porcentagem de germinação (%G) foi realizado de acordo com a fórmula proposta por Labouriau e Valadares (1976):

$$\%G = \left(\frac{N}{A} \right) \times 100$$

Em que: N = número total de sementes germinadas; A = número total de sementes semeadas.

3.6. Tempo médio de germinação

Para determinar o período médio em dias para a germinação das sementes ao longo do experimento, foi calculada a variável tempo médio de germinação (TMG) utilizando a fórmula proposta por Labouriau (1983):

$$TMG = \frac{\left(\sum_{i=1}^k ni \times ti \right)}{\sum_{i=1}^k ni}$$

Em que: ni = número de sementes germinadas por dia; ti = tempo de incubação (dias).

3.7. Índice de velocidade de germinação

Para avaliar a velocidade de germinação das sementes ao longo do período de teste, foi utilizado o índice de velocidade de germinação (IVG), calculado conforme a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

Em que: G1, G2, ... Gn = número de protusões de raízes computadas no primeiro dia da germinação, no segundo dia de germinação e na última contagem; N1, N2, ... Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda e última contagem.

3.8. Velocidade média de germinação

Para determinar a velocidade média de germinação (VMG) das sementes, foi utilizada a fórmula proposta por Labouriau (1983):

$$VMG = \frac{1}{TMG}$$

Em que: TMG = tempo médio de germinação

3.9. Osmocondicionamento e potencial de recuperação das sementes

Após análise dos dados da simulação da restrição hídrica, foram definidas as concentrações da solução de PEG 6000 para a constituição do tratamento de osmocondicionamento. Dentre as concentrações utilizadas no experimento anterior,

foram selecionados os potenciais osmóticos que inibiram totalmente a germinação (-0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa).

Para definição do tempo de osmocondicionamento e potencial de recuperação, as sementes foram acondicionadas em caixa tipo Gerbox, sobre duas folhas de papel germitest umedecidas com solução de PEG 6000 (2,5x peso do papel) nas concentrações previamente definidas. Após o período de 30 e 60 dias de osmocondicionamento, as sementes foram lavadas, secadas e postas para germinar sobre duas folhas de papel germitest umedecidas apenas com água destilada, conforme tratamento controle descrito no item 3.4.

Para avaliar os efeitos do osmocondicionamento e do potencial de recuperação das sementes, foram calculados o percentual de germinação, o tempo médio de germinação, o índice de velocidade de germinação e a velocidade média de germinação.

3.10. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições de 25 sementes para cada tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, foram aplicadas análises de regressão. A comparação das médias foi realizada utilizando o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R, versão 4.2.1 (R Core Team, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teor de água

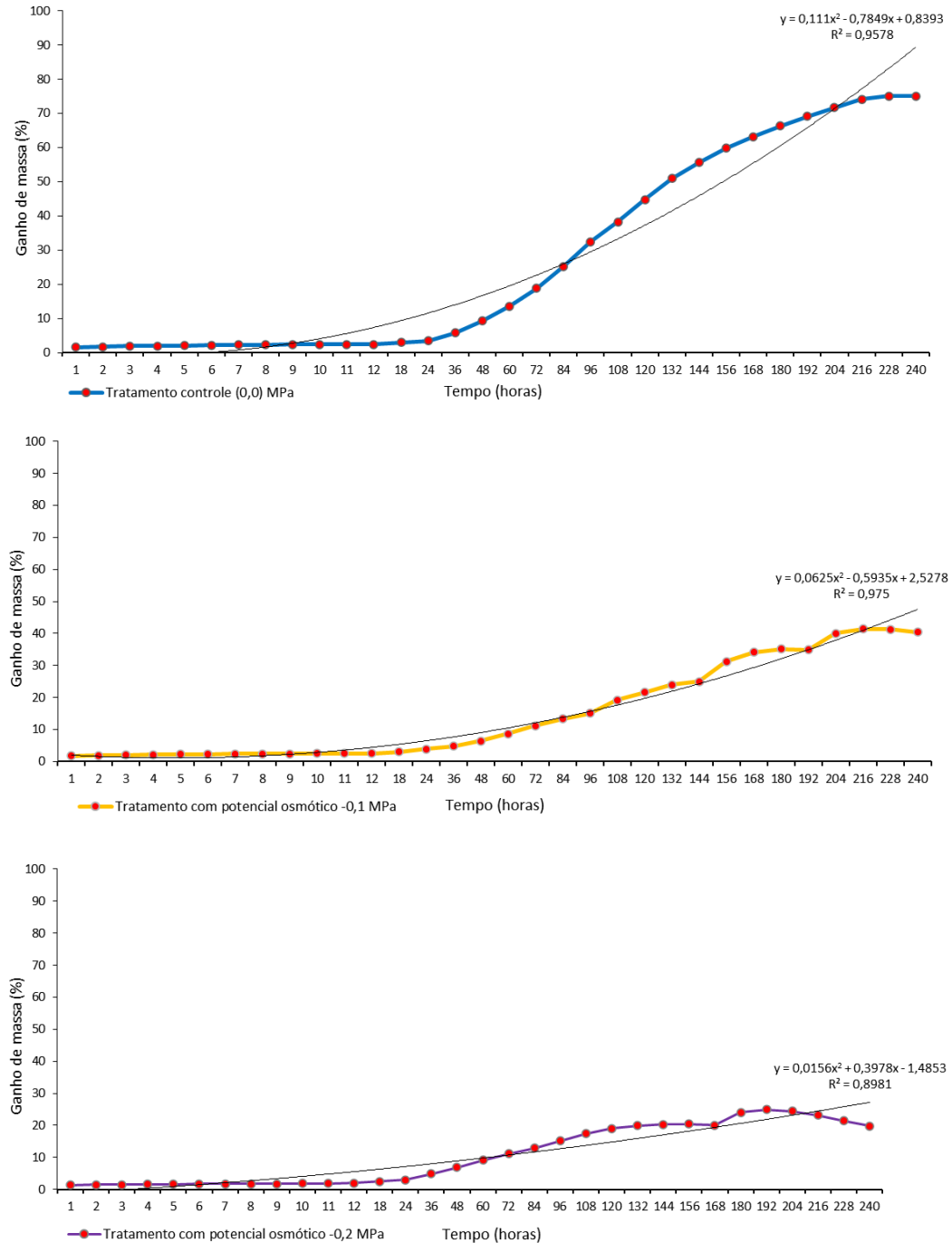
As sementes de *P. marginatum* apresentaram um valor médio do teor de água de 9,7% e uma diferença entre as repetições de 0,45% para determinação do grau umidade das sementes, não excedendo o valor máximo permitido de 0,5% de nível tolerância (Brasil, 2009), sendo a umidade um dos indicativos que corroboram com o comportamento ortodoxo dessas sementes, o que implica uma tolerância a dessecação sem perder a viabilidade (Urquiza *et al.*, 2019).

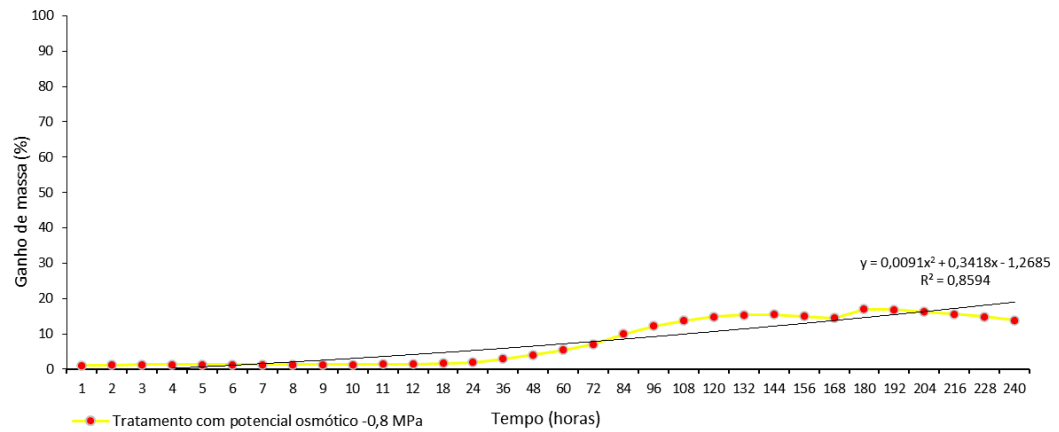
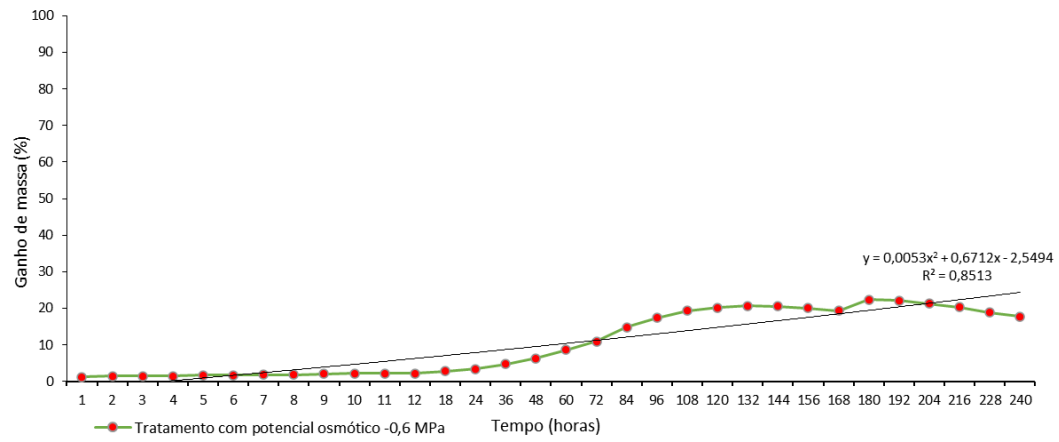
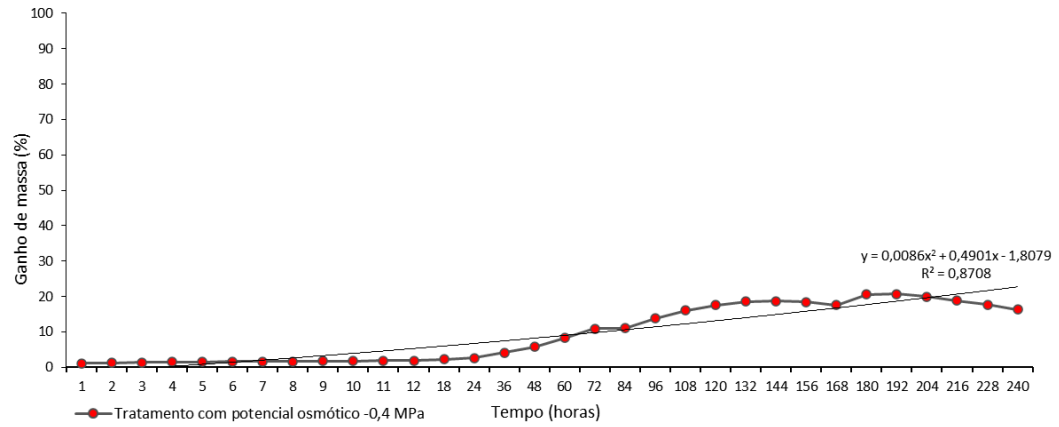
Segundo Antunes *et al.* (2010), o conteúdo de água das sementes é um dos fatores que mais interferem na manutenção da qualidade fisiológica, assim, quanto mais baixo, maior a longevidade das sementes durante o armazenamento.

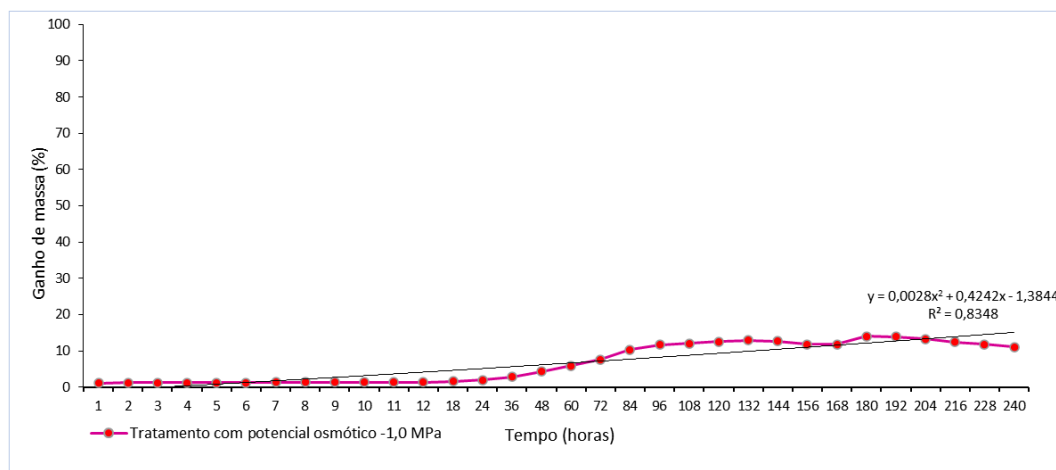
4.2. Curva de embebição

O potencial osmótico das soluções de PEG 6000 atuou diretamente na quantidade final de água absorvida das sementes de *P. marginatum*, que após 240 horas (10 dias do início da embebição) apresentaram ganho de massa de aproximadamente 75%, 40%, 19%, 16%, 17%, 13% e 11%, respectivamente, para os tratamentos 0, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa. Embora o ganho de massa pelas sementes nos diferentes potenciais osmóticos tenha sido semelhante nas primeiras horas, o tratamento controle proporcionou maior ganho por unidade de tempo, conforme pode ser observado pelos valores na Figura 1.

Figura 1 – Curvas de embebição das sementes de *Pseudobombax marginatum* em soluções de polietilenoglicol (PEG 6000), nos potenciais de 0 (controle), -0,1, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa.

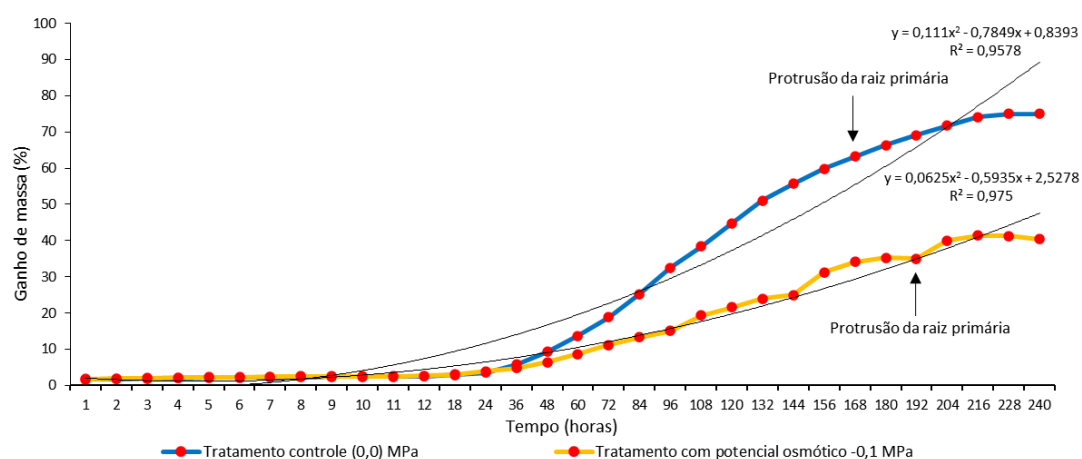






É importante destacar que os diferentes potenciais osmóticos exerceram uma notável influência nas atividades metabólicas das sementes de *P. marginatum*. Observou-se que a protrusão da raiz primária ocorreu apenas nos tratamentos controle (0,0 MPa) e no potencial osmótico de -0,1 MPa (Figura 2), enquanto nos potenciais osmóticos mais negativos, a protrusão da raiz primária foi completamente inibida.

Figura 2 – Curva de embebição das sementes de *Pseudobombax marginatum* nos tratamentos controle (0,0 MPa) e potencial osmótico de -0,1 MPa, com protrusão da raiz primária das sementes de 8% após 168 h e 4% 192 h, respectivamente.



Além disso, a análise da curva de embebição das sementes revelou que o padrão trifásico proposto por Bewley *et al.* (2013) não foi tão evidente nos tratamentos com potenciais osmóticos mais negativos, ao contrário do tratamento controle. Nas sementes tratadas com os potenciais osmóticos mais negativos, com exceção do

tratamento com potencial osmótico de -0,1 Mpa, não foi possível identificar claramente as fases na curva de embebição.

Portanto, a fase I, caracterizada pelo crescente aumento de massa em relação ao tempo de embebição, que se manteve constante até 168 horas para o tratamento controle, no qual foi observado um incremento de 63% no ganho de massa. Comparativamente, os tratamentos com potenciais osmóticos de -0,1 e -0,2 MPa apresentaram um ganho de massa de 34% e 19%, respectivamente, durante o mesmo período, enquanto os tratamentos com potenciais osmóticos de -0,8 e -1,0 MPa alcançaram os valores de 14% e 11%, respectivamente, e os valores foram de 17% e 19%, respectivamente, para os tratamentos com potenciais osmóticos de -0,4 e -0,6 MPa. Nessa fase, a absorção pelas sementes é controlada pela diferença de potencial hídrico entre a semente e o substrato contendo a solução, ocorrendo devido ao potencial matricial dos vários tecidos da semente (Bewley *et al.*, 2013).

De acordo com Bewley; Black (1994), em todo processo germinativo a embebição se torna um tipo de difusão que segue, de maneira geral, um padrão trifásico. No entanto, nem todas as espécies apresentam o comportamento trifásico, algumas vezes determinadas espécies não apresentam a fase II bem definida, no qual não é possível diferenciar as fases I e II, como pode ser observado nas sementes de *P. marginatum*. Após o período de embebição, observou-se uma variação no ganho de massa das sementes, culminando com a protrusão da raiz primária, marcando o início da fase III (Araujo, 2018). Para as sementes de *P. marginatum*, a protrusão da raiz primária ocorreu 168 horas após o início da embebição no tratamento controle, com ao menos metade das sementes emitindo raiz primária 216 horas após o início da embebição. Nos tratamentos com potenciais osmóticos mais negativos, não houve protrusão da raiz primária ao longo das 240 horas de avaliação, com exceção do tratamento com potencial osmótico de -0,1 MPa, em que as sementes emitiram a raiz primária 192 horas após o início da embebição, indicando uma absorção de água mais lenta em comparação com o tratamento com água destilada, corroborando com o comportamento semelhante observado em outras espécies florestais, como *Schinus terebinthifolia* (Anacardiaceae) (Oliveira Junior, 2021). Esses resultados demonstram o impacto fisiológico da restrição hídrica, promovendo um atraso na protrusão da raiz primária devido à inibição na expansão e divisão celular.

4.3. Germinação de sementes

A influência dos diferentes potenciais osmóticos na germinação de sementes de *Pseudobombax marginatum* foi evidente, com a germinação ocorrendo apenas nos potenciais 0,0 MPa (controle) e -0,1 MPa, com porcentagem de germinação de 86% e 48%, respectivamente. Este resultado indica uma sensibilidade significativa da espécie à restrição hídrica, uma vez que houve uma redução considerável na germinabilidade das sementes nos potenciais osmóticos mais negativos.

Essa inibição ou redução da germinabilidade de sementes em condições de déficit hídrico está relacionada à redução das atividades enzimáticas devido à baixa disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, à redução do metabolismo da semente, que precisa ser ativado para o processo de mobilização de reservas, fundamental para a germinação de sementes (Bewley; Black, 1994; Lima *et al.*, 2018).

Os resultados observados na redução da germinação de sementes de *P. marginatum* em potenciais osmóticos mais negativos estão em conformidade com estudos anteriores, como o de Oliveira Junior (2021) ao analisar o efeito do estresse hídrico em sementes de *Schinus terebinthifolia* (Anacardiaceae), no qual o autor verificou um decréscimo de aproximadamente 18% e 62% na germinação para as sementes que foram submetidas ao PEG 6000, quando os potenciais osmóticos passaram de 0 MPa para -0,1 e -0,3 MPa, respectivamente, demonstrando uma maior sensibilidade das sementes a potenciais osmóticos mais negativos.

Outros estudos, como Santos *et al.* (2018), avaliando a germinação de sementes de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) sob condições de estresse hídrico, observaram que não houve germinabilidade no potencial osmótico -0,8 MPa e Virgens *et al.* (2012) ao avaliarem a germinação de *Astronium urundeuva* (Anacardiaceae), no qual a germinação foi nula nos potenciais osmóticos mais negativos que -0,8 MPa, demonstrando que essas espécies, assim como a *Pseudobombax marginatum*, apresentam maior sensibilidade a condições de estresse hídrico.

Além disso, o tempo médio de germinação (TMG) foi significativamente maior para as sementes submetidas às soluções de PEG 6000 em comparação com o tratamento controle (Tabela 1), o que está em concordância com estudos anteriores, como o de Pelegrini *et al.* (2013), que encontraram resultados semelhantes para espécie *Erythrina falcata* (Fabaceae), evidenciando os efeitos negativos do estresse osmótico sobre o TMG.

Tabela 1 – Porcentagem de germinação (%G), tempo médio de germinação (TMG), índice de velocidade de germinação (IVG) e velocidade média de germinação (VMG) das sementes de *Pseudobombax marginatum* em diferentes potenciais osmóticos.

Tratamento (MPa)	%G	TMG (dias)	IVG	VMG
0,0	86 a	9,35 b	2,39 a	0,106 a
-0,1	48 b	15,64 a	0,86 b	0,063 b
-0,2	0 c	0 c	0 c	0 c
-0,4	0 c	0 c	0 c	0 c
-0,6	0 c	0 c	0 c	0 c
-0,8	0 c	0 c	0 c	0 c
-1,0	0 c	0 c	0 c	0 c

Em que: Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O TMG prolongado das sementes de *P. marginatum* submetidas aos tratamentos com PEG 6000 pode ser atribuído à seca fisiológica induzida pelo aumento das concentrações de PEG, resultando em uma redução no potencial osmótico e, consequentemente, na absorção de água pela semente, alterando seu comportamento germinativo (Tobe *et al.*, 2000).

Quanto à velocidade média de germinação (VMG) e ao índice de velocidade de germinação (IVG), ambos foram afetados osmoticamente pelo PEG 6000, demonstrando uma redução significativa nos valores médios nos tratamentos com potenciais osmóticos mais negativos (Tabela 1). Esses resultados corroboram com estudos anteriores, como o de Rego *et al.* (2011), que encontraram uma redução no IVG em *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae) sob efeito do potencial osmótico de PEG.

Os maiores valores de germinação, IVG e VMG, bem como o melhor TMG, ocorrem quando as sementes são submetidas à embebição com água destilada (controle). Tais resultados confirmam a importância da água no processo germinativo, de maneira que ela é responsável pela pressão de turgor que intensifica a expansão das células e na reativação do metabolismo. A água também atua no relaxamento do

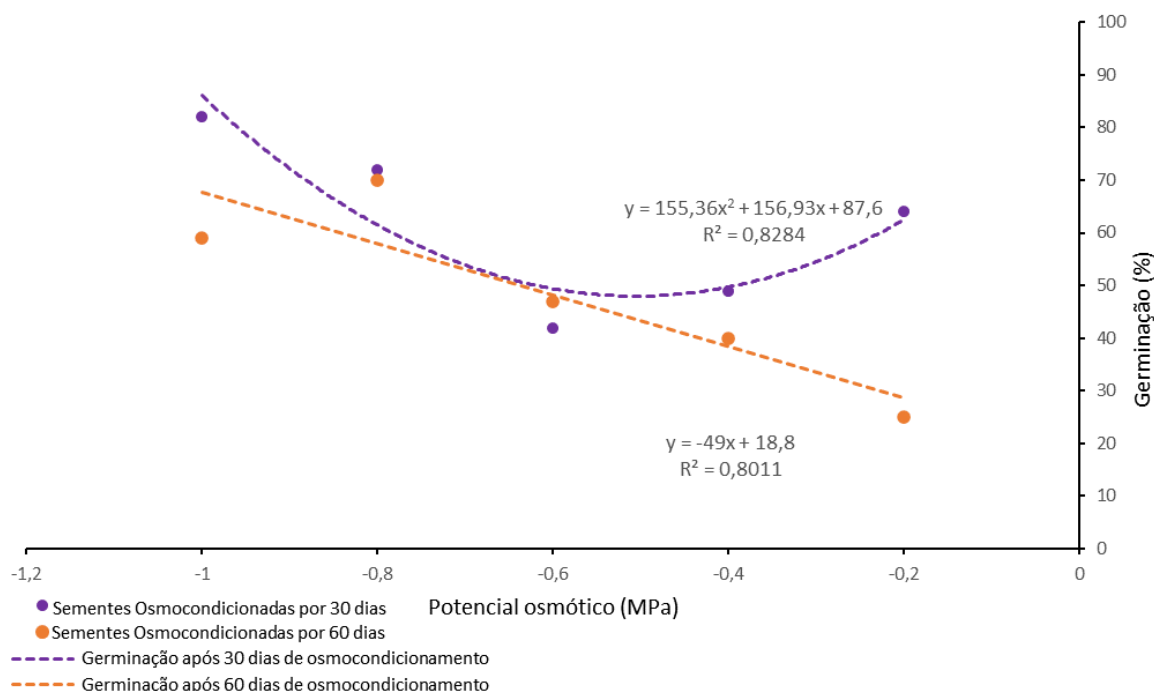
tegumento, no acréscimo de volume do embrião, no aumento dos estímulos de translocação e assimilação de nutrientes (Carvalho; Nakagawa, 2012; Ferreira; Borghetti, 2004; Villela, 1998). Com a absorção adequada de água, ocorre a reidratação dos tecidos, intensificação das atividades metabólicas, permeabilização do tegumento às trocas gasosas e consequentemente o aumento da atividade respiratória, culminando no fornecimento de energia necessária para a retomada de crescimento do eixo embrionário (Taiz *et al.*, 2017).

Esta análise detalhada das respostas das sementes de *P. marginatum* ao estresse hídrico, considerando diferentes potenciais osmóticos, contribui para melhor compreensão dos mecanismos envolvidos na germinação e no desenvolvimento inicial dessas plantas em condições de déficit hídrico. Essas compreensões são cruciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação visando à promoção da tolerância ao estresse em espécies florestais.

4.4. Osmocondicionamento

Os valores de germinação (%) variaram significativamente para as diferentes concentrações osmóticas de PEG 6000 durante os períodos de 30 e 60 dias de osmocondicionamento. Observou-se que o maior percentual de germinação (82%) ocorreu nas sementes submetidas ao potencial osmótico de -1,0 MPa por 30 dias. Em contrapartida, as sementes osmocondicionadas por 60 dias no potencial osmótico de -0,2 MPa registraram o menor valor de germinação (25%) (Figura 3). Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores, como o de Spadeto *et al.* (2018), que identificaram uma redução na germinação de sementes de *Apuleia leiocarpa* (Fabaceae) tratadas com PEG 6000 em diferentes potenciais osmóticos.

Figura 3 – Germinação das sementes após o osmocondicionamento nos potenciais hídricos (-0,2; -0,4; -0,6; -0,8 e -1,0 MPa) por 30 e 60 dias de *Pseudobombax marginatum*.



Em que: Os resíduos podem ser considerados normais, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância e as variâncias podem ser consideradas homogêneas, conforme o teste de Bartlett a 5% de significância.

A capacidade de recuperação germinativa das sementes de *P. marginatum* foi evidente, especialmente quando expostas aos tratamentos com potencial osmótico de -0,8 e -1,0 MPa por 30 dias, resultando em percentuais germinativos de 72% e 82%, respectivamente, quando retornadas às condições hídricas favoráveis (0,0 MPa), indicando um potencial de recuperação das sementes submetidas ao estresse hídrico. Entretanto, quando submetidas aos mesmos tratamentos por 60 dias, observou-se uma redução linear na germinação, indicando uma sensibilidade crescente das sementes às condições de estresse hídrico prolongado.

Os resultados sugerem que as sementes submetidas a baixos potenciais hídricos por até 30 dias podem germinar quando retornadas a 0,0 MPa, indicando que a exposição ao PEG 6000 nessas condições não causa danos significativos às sementes, mas apenas retarda a entrada de água, impedindo temporariamente a germinação. No entanto, quando expostas às mesmas condições hídricas por 60 dias, ocorre um decréscimo significativo na porcentagem e velocidade de germinação,

sugerindo que a exposição prolongada ao PEG 6000 afeta negativamente a germinação e a viabilidade das sementes.

A análise de variância (ANOVA) revelou diferença significativa entre os tratamentos de condicionamento osmótico em solução de PEG 6000 em diferentes concentrações para os tempos de 30 e 60 dias. O condicionamento influenciou na capacidade de recuperação das sementes, interferindo na germinação, IVG, TMG e VMG (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de germinação (%G), Índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e velocidade média de germinação (VMG) de sementes de *P. marginatum* submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento em solução de PEG 6000.

Tratamento	%G	IVG	TMG (dias)	VMG
T1 (Controle)	86 a	2,39 b	9,35 a	0,106 f
T6 (-1,0 MPa/30 dias)	82 a	3,89 a	5,51 b	0,182 d
T5 (-0,8 MPa/30 dias)	72 b	3,90 a	4,69 b	0,213 a
T10 (-0,8 MPa/60 dias)	70 b	3,44 a	5,25 b	0,190 c
T2 (-0,2 MPa/30 dias)	64 c	2,81 a	5,96 b	0,170 e
T11 (-1,0 MPa/60 dias)	59 c	3,09 a	4,86 b	0,208 a
T3 (-0,4 MPa/30 dias)	49 d	2,59 a	5,09 b	0,197 b
T9 (-0,6 MPa/60 dias)	47 d	2,49 a	5,25 b	0,195 b
T4 (-0,6 MPa/30 dias)	42 d	2,13 b	5,46 b	0,186 c
T8 (-0,4 MPa/60 dias)	40 d	2,16 b	5,32 b	0,190 c

T7 (-0,2 MPa/60 dias)	25 d	1,32 b	5,16 b	0,198 b
--------------------------	------	--------	--------	---------

Em que: Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora o condicionamento fisiológico das sementes por 30 dias na concentração osmótica de -1,0 MPa, não tenha reduzido significativamente a germinação, os demais tratamentos afetaram negativamente o potencial germinativo das sementes de *P. marginatum*. Tais resultados indicam que o condicionamento das sementes em maiores concentrações de PEG, como ocorreu em -1,0 MPa por até 30 dias, aumenta o potencial de recuperação das sementes quando estas são colocadas em condições favoráveis de germinação, não reduzindo o potencial de germinação e favorecendo a velocidade e uniformidade de germinação (IVG e TMG).

Uma possível explicação para esses resultados é que durante o osmocondicionamento, ocorre a ativação de enzimas hidrolíticas, síntese de DNA e proteínas de reparo do DNA, bem como a síntese de enzimas antioxidantes, facilitando a ativação do mecanismo germinativo das sementes (Sarmiento *et al.*, 2021). Além disso, o osmocondicionamento resulta no aumento do ATP livre, o que mantém a energia metabólica das sementes após a secagem e reidratação, promovendo a germinação (Varier *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2020). Para *P. marginatum*, o osmocondicionamento na concentração osmótica de -1,0 MPa por 30 dias parece ser eficaz, permitindo que as sementes iniciem os processos respiratórios necessários para a germinação sem danos significativos.

5. CONCLUSÃO

Os diferentes potenciais osmóticos exercem uma influência significativa no processo de embebição das sementes de *P. marginatum*.

O aumento na concentração de PEG 6000 está associado a redução na velocidade de embebição das sementes de *P. marginatum*.

Para as sementes de *P. marginatum* submetidas aos potenciais osmóticos mais negativos que -0,1 MPa, não foi possível identificar claramente as fases na curva de embebição.

A maior porcentagem de germinação (86%) foi observada no potencial osmótico de 0,0 Mpa.

O tempo médio de germinação foi significativamente maior para as sementes submetidas ao potencial osmótico de -0,1 Mpa.

Os potenciais osmóticos mais negativos reduziram a velocidade média de germinação e o índice de velocidade de germinação das sementes de *P. marginatum*.

Em potenciais hídricos iguais ou inferiores a -0,2 MPa não ocorre a germinação das sementes.

O osmocondicionamento das sementes em solução de PEG 6000 a -1,0 MPa por até 30 dias revelou-se eficaz na recuperação da capacidade germinativa das sementes.

6. REFERÊNCIAS

- ALORI, E. T.; EMMANUEL, O. C.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Plant–archaea relationships: a potential means to improve crop production in arid and semi-arid regions. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.36, p.1-10, 2020.
- AMORIM, B. S. *et al.* **Malvaceae s.l.** In: ALVES, M. *et al.* Flora de Mirandiba. Recife: Associação de Plantas do Nordeste, p. 243-260, 2009.
- ANTUNES, C. G. C.; PELACANI, C. R.; RIBEIRO, R. C.; GOMES, H. L. R.; CASTRA, R. D. Influência do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. **Rev. Árvore**, v. 34, n. 6, 2010.
- ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. **Produção de sementes e mudas: um enfoque à silvicultura**. Santa Maria: Ed. UFSM, p. 448, 2018.
- AZERÊDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* benth. sob estresse hídrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.26, n.1, p.193-202, jan.-mar., 2016.
- BEWLEY, D. D.; BLACK, A. M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum, p.445, 1994.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. Nova York: Springer, p. 392, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, p. 395, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. Brasília, DF, p. 97, 2013.
- CAMPOS, A. J. de M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Water stress in plants: a review. **Research, Society and Development**, v.10, n. 15, 2021.
- CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* (S. *parahyba* var. *amazonicum*) e *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.6, p.907-914, 2005.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 5.ed. Jaboticabal-SP: UNESP, p. 590, 2012.
- CARVALHO-SOBRINHO, J. G.; YOSHIKAWA, V. N. **Pseudobombax in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB25762>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMAR, N.R.C.B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Sobral, CE: Embrapa Caprinos, p.50, 2009.

DUARTE, M. M. *et al.* Influência do estresse hídrico na germinação de sementes e formação de plântulas de angico branco. **Advances in Forestry Science**, v.5, n.3, p. 375-379, 2018.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, p. 323, 2004.

FERREIRA, *et al.* **Germinação e dormência de sementes de Annonaceae**. Jaboticabal-SP: UNESP, 2015.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination os seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.48, n.2, p.263-284, 1976.

LABOURIAU, L. G. A germinação das sementes. **Monografias Científicas**, Washington, USA, p. 170, 1983.

LIMA, A. T.; DE 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**, p. 55-61, 2018.

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

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, p.659, 2015.

MEDEIROS, H. L de S. *et al.* Superação de dormência e pré-condicionamento em sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p.720-727 2020.

MISSIO, E. L.; NUNES, U. R.; SALDANHA, C. W.; MALDANER, J., KIST STEFFEN, G. P.; MORAIS, R. M. Seeds of *Peltophorum dubium* submitted to osmotic conditioning increases germination and vigor. **Brazilian Journal of Forest Research Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, n.9, p. 1-9, 2018

OLIVEIRA, A. R. T. DE. **Embebição e osmocondicionamento como indutores de germinação de sementes florestais potenciais para a semeadura direta**. 2023. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.

OLIVEIRA JUNIOR, J. L. **Perfis bioquímico e fisiológico da maturação, longevidade e germinabilidade de sementes de Aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolia* Raddi)**. 2021. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

PELEGRINI, L. L.; BORCIONI, E.; NOGUEIRA, A. C.; KOEHLER, H. S.; QUOIRIN, M. G. G. Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, Manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 511 - 519, 2013.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K. de.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SIVA, A. L. L. da. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Velloso) Brenan. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4, p. 37 - 42, 2011.

ROSA, L. S. *et al.* Avaliação da germinação sob diferentes potenciais osmóticos e caracterização morfológica da semente e plântula de *Ateleia glazioviana* Baill (Timbó). **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.306-314, 2005.

SANTOS, P. C. S *et al.* Estresse hídrico e temperatura na germinação e vigor de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.349-354, 2018.

SANTOS, A.S.; LOPES, K.P.; RODRIGUES, M.H.B.S.; LIMÃO, M.A.R.; BARBOSA, L.S. Potencial da técnica do osmocondicionamento de sementes como estratégia para minimizar os efeitos da salinidade. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.2, n.2, p.56-61, 2020.

SARMENTO, M. B.; NUNES, U. R.; SALDANHA, C. W.; MALDANER, J., KIST STEFFEN, G. P.; MORAIS, R. M. Osmoconditioning with polyethylene glycol 6000 in Brazilian Guava seeds (*Acca sellowiana* O. Berg.). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.2, p. 15537-15554, 2021.

SPADETO, C. *et al.* Embebição, osmocondicionamento e viabilidade de sementes de *Apuleia leiocarpa* (Vogel.) J. F. Macbr. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.1, p.80-89, jan.-mar., 2018.

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

TOBE, K.; LI, X.; OMASA, K. Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). **Annals of Botany**, v. 85, p. 391-396, 2000.

URQUIZA, N.G. *et al.* **Guia de propágulos e plântulas da Caatinga**. Petrolina-PE: Ed. Cogito, 2019.

VARIER, A.; VARI, A. K.; DADLANI, M. The subcellular basis of seed priming. **Current Science**, v. 99, p. 450–456, 2010.

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.

VILLELA, F. A. Water relations in seed biology. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, p. 98-101, 1998.

VIRGENS, I.O. *et al.* Comportamento fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* fr. all. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.4, p.681-692, out.-dez., 2012.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E MEMÓRIA HÍDRICA EM MUDAS DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns PRODUZIDAS COM SEMENTES OSMOCONDICIONADAS

SANTOS, MURILO CORREIA, **CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E MEMÓRIA HÍDRICA EM MUDAS DE *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns PRODUZIDAS COM SEMENTES OSMOCONDICIONADAS.** 2024. Orientador: Marccone Moreira Santos. Coorientador: Ricardo Gallo.

RESUMO

A compreensão das demandas hídricas das espécies florestais é fundamental para o êxito na produção de mudas. Contudo, ainda há lacunas no entendimento do comportamento e dos mecanismos de adaptação das espécies florestais nativas diante de condições de restrição hídrica. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e desenvolvimento inicial de mudas de *Pseudobombax marginatum*, provenientes de sementes osmocondicionadas e não condicionadas, além de investigar a possível ocorrência de memória hídrica sob diferentes regimes hídricos. A sementeira das sementes ocorreu em vaso plástico, contendo substrato, sendo três sementes por recipiente, que foram mantidas em casa de vegetação com irrigação diária. Para a avaliação da emergência de plântulas, foram analisadas as plântulas emergidas e não emergidas ao longo de 30 dias após a sementeira, calculando-se a Porcentagem de Emergência (%E), o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), a Velocidade Média de Emergência (VME) e o Tempo Médio de Emergência (TME), em seguida foi realizado um raleio das plântulas emergidas, permanecendo uma muda por vaso. Posteriormente, o experimento foi submetido a quatro tratamentos de regime hídrico: irrigação diária, irrigação a cada 3 dias, irrigação a cada 6 dias e irrigação a cada 9 dias, com quatro plantas por nível, totalizando 32 plantas, ao longo de 135 dias após a sementeira em casa de vegetação. Foram avaliadas variáveis como altura, diâmetro do coleto, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, além de parâmetros como temperatura foliar e teores de clorofilas *a* e *b*. Os resultados obtidos 135 dias após a sementeira, não indicaram a presença de memória hídrica nas sementes osmoticamente condicionadas de *P. marginatum*, além de apresentarem uma porcentagem de emergência reduzida. Entretanto, a análise dos parâmetros morfológicos e fisiológicos das mudas revelou que estas são tolerantes a níveis intermediários de restrição hídrica.

Palavras-chaves: Regime Hídrico; Osmocondicionamento; Emergência; Mudas Florestais.

SANTOS, MURILO CORREIA, **GROWTH, DEVELOPMENT AND WATER MEMORY IN *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns SEEDLINGS PRODUCED WITH OSMOCONDITIONED SEEDS.** 2024. Advisor: Marccone Moreira Santos. Co-advisor: Ricardo Gallo.

ABSTRACT

Understanding the water demands of forest species is essential for successful seedling production. However, there are still gaps in the understanding of the behavior and adaptation mechanisms of native forest species under water restriction conditions. In this context, the present study aimed to evaluate the growth and initial development of *Pseudobombax marginatum* seedlings, originating from osmoconditioned and unconditioned seeds, in addition to investigating the possible occurrence of water memory under different water regimes. The seeds were sown in a plastic pot containing substrate, with three seeds per container, which were kept in a greenhouse with daily irrigation. To evaluate seedling emergence, emerged and not emerged seedlings were analyzed over 30 days after sowing, calculating the Emergence Percentage (%E), Emergence Speed Index (ESI), Average Emergence Speed (AES) and Average Emergence Time (AET). Then, the emerged seedlings were thinned, leaving one seedling per pot. Subsequently, the experiment was subjected to four water regime treatments: daily irrigation, irrigation every 3 days, irrigation every 6 days and irrigation every 9 days, with four plants per level, totaling 32 plants, over 135 days after sowing in a greenhouse. Variables such as height, stem diameter, fresh and dry mass of the aerial part and root system, in addition to parameters such as leaf temperature and chlorophyll a and b contents were evaluated. The results obtained 135 days after sowing did not indicate the presence of water memory in the osmotically conditioned seeds of *P. marginatum*, in addition to presenting a reduced emergence percentage. However, the analysis of the morphological and physiological parameters of the seedlings revealed that they are tolerant to intermediate levels of water restriction.

Keywords: Water regime; Osmoconditioning; Emergency; Forest seedlings.

1. INTRODUÇÃO

Pseudobombax marginatum (Malvaceae) possui ampla distribuição na América do Sul. No Brasil, é encontrada em diversas regiões, especialmente nos domínios fitogeográficos do Cerrado, Pantanal e Caatinga (Carvalho-Sobrinho; Yoshikawa, 2020). A Caatinga é caracterizada por um clima semiárido, regime hídrico diversificado e períodos de estiagem, que resulta na disponibilidade de água limitada no solo e influencia diretamente a vegetação, os processos de germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas (Meiado *et al.*, 2012).

As espécies florestais nativas desse bioma sofrem os efeitos da irregularidade pluvial (Santos *et al.*, 2018), que expõe as sementes a períodos de hidratação e desidratação, fator que pode interferir na sua viabilidade e características, o que nem sempre ocorre devido a um mecanismo denominado memória hídrica (Lima; Meiado, 2018; Silva, 2024). Diversas abordagens estão sendo feitas para compreender como algumas espécies, quando submetidas a condições de restrição hídrica, desenvolvem essa habilidade de recuperação germinativa que é a memória hídrica, caracterizada pela capacidade das sementes em adaptar-se às mudanças bioquímicas e fisiológicas resultantes da hidratação descontínua, osmocondicionamento e condições de estresses ambientais (Lima, 2019).

A compreensão das mudanças fisiológicas e morfológicas das mudas submetidas a restrição hídrica podem contribuir para o entendimento do comportamento da *P. marginatum* em condições desfavoráveis, subsidiando o desenvolvimento de protocolos de manejo mais adequados para o estabelecimento dos plantios florestais (Medeiros, 2022).

A crescente demanda por mudas florestais para recomposição ambiental destaca a importância de potencializar a produção, porém, o regime hídrico é um recurso essencial que influencia os processos morfofisiológicos das mudas e pode se apresentar como um fator limitante (Bahmani *et al.*, 2018). Assim, o desempenho das mudas depende do manejo do regime hídrico em ambiente natural ou disponibilizado em casas de vegetação, visando o uso racional dos recursos hídricos de forma que não interfira no desenvolvimento e, consequentemente, na produção (Joca, 2020).

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial das mudas de *P. marginatum*, provenientes de sementes osmocondicionadas e não condicionadas em diferentes níveis de regime hídrico na irrigação do substrato,

investigando a ocorrência de memória hídrica. Espera-se que os resultados contribuam para o desenvolvimento de técnicas e estratégias para a produção de mudas de espécies florestais nativas adaptadas ao regime hídrico, com potencial aplicação em plantios comerciais e projetos de reflorestamento.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar o desenvolvimento inicial e os mecanismos de recuperação germinativa das mudas produzidas com sementes osmocondicionadas de *P. marginatum* em diferentes condições hídricas.

2.2. Específico

- Avaliar a porcentagem, velocidade e tempo médio de emergência das plântulas oriundas de sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas.
- Investigar o desenvolvimento e crescimento inicial de mudas *P. marginatum* sob o efeito da restrição hídrica, simulado por diferentes regimes de irrigação.
- Caracterizar morfolologicamente e fisiologicamente as mudas de *P. marginatum*, analisando aspectos como altura, diâmetro do coleto, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, além de parâmetros fisiológicos como temperatura foliar e clorofilas *a* e *b*.
- Avaliar os indícios de memória hídrica em mudas de *P. marginatum* obtidas de sementes osmocondicionadas em diferentes regimes de irrigação

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Casa de Vegetação do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural do Pernambuco, durante o período de fevereiro a junho de 2023. As sementes foram disponibilizadas pela Rede de Sementes do Projeto de Integração do São Francisco, administrada pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), situado em Petrolina, PE. Essas sementes foram coletadas em 6 matrizes no município de Salgueiro, PE, sob as coordenadas geográficas 8° 7'1.20"S e 39°11'8.61"O, no ano de 2021, próximo as instalações do Projeto de Integração do São Francisco na região Nordeste do Brasil

3.2. Desinfestação das sementes

As sementes osmocondicionadas (-1,0 MPa de PEG por 30 dias) e não osmocondicionadas foram submetidas ao procedimento de assepsia por meio do método de imersão em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,5% da solução comercial, contendo 2,5% de princípio ativo, por um período de 5 minutos. Posteriormente, as sementes foram lavadas três vezes em água destilada para remover qualquer resíduo do agente desinfetante. Este método de assepsia foi selecionado com base nas recomendações das Instruções para Análise de Sementes de Espécies Florestais (Brasil, 2013), especificamente para a espécie *Pseudobombax tomentosum*, que pertence à mesma família da *P. marginatum*.

Após o processo de assepsia, as sementes foram acondicionadas em embalagens plásticas e armazenadas em ambiente refrigerado por 30 dias, mantendo uma temperatura de 25 °C, até o início do experimento.

3.3. Instalação e condução do experimento

A semeadura de sementes osmocondicionadas (-1,0 MPa por 30 dias) e não osmocondicionadas, ocorreu em vaso plástico com capacidade de 2,8 L, contendo terra de subsolo, incorporado ao substrato comercial (Basaplant®) a base de turfa, rocha calcárea, vermiculita, carvão vegetal, rocha fosfática e casca de pinus, na proporção de 2:1, sendo três sementes por recipiente, que foram mantidas em casa de vegetação com irrigação diária até a saturação do substrato (Figura 1). Após 30

dias da sementeira, foram avaliadas a Porcentagem de Emergência (%E), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), Velocidade Média de Emergência (VME) e o Tempo Médio de Emergência (TME), em seguida foi realizado um raleio das plântulas emergidas, permanecendo aquelas que se apresentaram mais vigorosas, deixando uma muda por vaso.

Figura 1 – Produção de mudas da espécie *Pseudobombax marginatum* com sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas, submetidas a quatro diferentes tratamentos com relação ao regime hídrico - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).



Fonte: Santos (2023)

Após o estabelecimento (45 dias depois da sementeira), as mudas dos dois grupos (osmocondicionadas e não osmocondicionadas) foram submetidas a quatro diferentes tratamentos com relação ao regime hídrico - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias) (Costa *et al.*, 2020) por 135 dias, sendo a irrigação realizada até a saturação do substrato.

3.4. Porcentagem de emergência

Para a avaliação da emergência de plântulas (%E), foi contabilizado o número de plântulas emergidas e não emergidas, no período total de 30 dias. Foram consideradas emergidas as plântulas que apresentavam os cotilédones visíveis acima do substrato, e as não emergidas aquelas que apresentaram algum tipo de deformidade em suas estruturas essenciais que comprometeram o seu desenvolvimento normal.

O cálculo foi efetuado, conforme a fórmula adaptada citada por Labouriau e Valadares (1976):

$$\%E = \left(\frac{N}{A} \right) \times 100$$

Em que: N = número total de plântulas emergidas; A = número total de sementes semeadas.

3.5. Índice de velocidade de emergência

A variável índice de velocidade de emergência (IVE) foi avaliada através do registro diário de emergência das plântulas que apresentavam os cotilédones visíveis acima do substrato até a data final do teste de emergência, calculado de acordo com a fórmula adaptada citada por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn}$$

Em que: G1, G2, ... Gn = número de plântulas normais emergidas a cada dia; N1, N2, ... Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda e última contagem.

3.6. Velocidade média de emergência

A variável velocidade média de emergência (VME) foi calculada a partir da emergência das plântulas normais, sendo expressa empregando a fórmula adaptada proposta por Labouriau (1983):

$$VME = \frac{1}{TME}$$

Em que: TME = tempo médio de emergência

3.7. Tempo médio de emergência

A variável tempo médio de emergência (TME) é importante para detectar a emergência das plântulas diariamente ao longo do experimento, sendo calculada a partir da fórmula adaptada proposta por Labouriau (1983):

$$TME = \frac{(\sum_{i=1}^k ni \times ti)}{\sum_{i=1}^k ni}$$

Em que: ni = número de plântulas emergidas por dia; ti = tempo de incubação (dias).

3.8. Temperatura foliar, clorofilas a e b, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular

Após o início dos regimes de irrigação, as avaliações foram realizadas a cada 15 dias para as variáveis altura (com o auxílio de uma régua graduada, por meio da medida do coleto da muda até a gema apical); diâmetro do coleto (com um paquímetro digital); temperatura foliar a partir das folhas completamente expandidas, localizadas na parte apical da planta (com auxílio de um Higo-Thermometer + Infrared Thermometer); e clorofilas a e b (obtida através do medidor eletrônico ClorofiLOG). Após 135 dias da semeadura, foram avaliadas também as variáveis: massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, através do percentual de massa após secagem até peso constante (estufa de circulação de ar a 70 ± 3 °C). Com base nesses dados, foi realizada a avaliação da qualidade das mudas através do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), de acordo com a fórmula proposta por Dickson *et al.* (1960), relação altura e diâmetro do coleto (H/DC) e da relação massa seca da parte aérea e raiz (MSPA/MSR).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

Em que: MST = massa seca total (g); H = altura (cm); DC = diâmetro do coleto (mm); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MSR = massa seca da raiz (g).

3.9. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial (2 x 4), sendo dois tratamentos (sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas) e quatro níveis diferentes de irrigação (irrigação diária; irrigação a cada 3 dias; irrigação a cada 6 dias; irrigação a cada 9 dias), com 4 plantas por

tratamento, totalizando 32 plantas. Os dados de emergência, altura, diâmetro do coleto, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, Índice de Qualidade de Dickson e relação massa seca da parte aérea e do sistema radicular foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, correlação de Pearson. A comparação das médias foi realizada utilizando o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R, versão 4.2.1 (R Core Team, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Porcentagem de emergência

A análise estatística dos dados revelou que o osmocondicionamento teve influência significativa na maioria das variáveis relacionadas à emergência das plântulas. Houve diferença significativa no crescimento inicial das plântulas em relação à emergência de diferentes tratamentos, com exceção do Índice de Velocidade de Emergência (IVE), no qual os valores obtidos não apresentaram diferença significativa entre as sementes não osmocondicionadas e osmocondicionadas.

Os resultados indicaram que a porcentagem média de emergência das plântulas de *P. marginatum* não osmocondicionadas foi significativamente maior (83%) em comparação com as sementes osmocondicionadas, que apresentaram uma redução para 33%. Apesar dessa redução, o condicionamento osmótico demonstrou ser eficaz na manutenção da viabilidade das sementes de *P. marginatum*. Da mesma forma, em estudo com sementes de *Apuleia leiocarpa* (Fabaceae), o osmocondicionamento também reduziu a germinação logo após o processo, mas preservou a viabilidade das sementes (Spadeto *et al.*, 2018).

A sensibilidade da porcentagem de emergência em resposta ao osmocondicionamento foi mais expressiva em comparação com outros parâmetros como o Tempo Médio de Emergência (TME) e Velocidade Média de Emergência (VME). Com relação à velocidade média de emergência (VME), as sementes submetidas ao osmocondicionamento apresentaram o melhor resultado, com valor médio de 0,114, comparadas com as sementes não osmocondicionadas, que apontaram o valor médio de 0,080, ocasionando uma emergência de plântulas mais rápida.

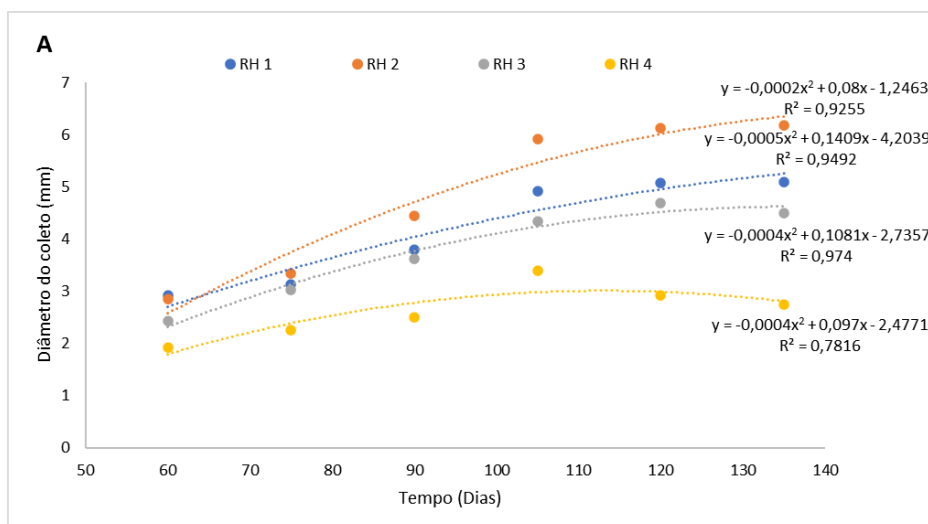
As sementes osmocondicionadas de *P. marginatum* reduziram o tempo de emergência (8,74) em comparação às sementes não osmocondicionadas (12,46), proporcionando maior uniformidade, apesar do valor da porcentagem de germinação não ser tão significativo, se comparado com as sementes não osmocondicionadas. Resultado semelhante foi observado por Missio *et al.* (2018) em sementes de *Peltophorum dubium* (Fabaceae) osmocondicionadas com PEG, no qual os autores verificaram que além da técnica reduzir o tempo de germinação, promoveu uma melhoria no vigor das plântulas.

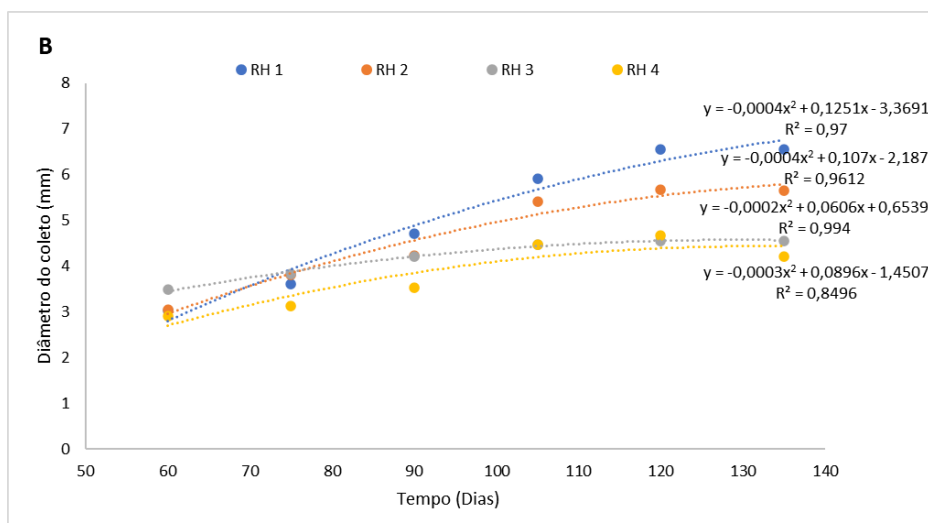
4.2. Altura e diâmetro do coleto

De acordo com a ANOVA ($p < 0,05$) não foi observada diferença significativa para as variáveis altura e diâmetro do coleto em função do osmocondicionamento e da interação desse fator com a irrigação. Apenas para variável diâmetro do coleto o fator regime hídrico apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

De modo geral, o crescimento das mudas de *P. marginatum* em relação à altura e diâmetro do coleto ao longo do tempo de condução do experimento apresentou tendência crescente para todos os tratamentos, sendo que o tratamento de irrigação diária e a cada três dias proporcionaram maiores incrementos para variável diâmetro do coleto (Figura 2). Resultados semelhantes foram observados para as mudas de *T. serratifolia* Vahl (Bignoniaceae) (Souza *et al.*, 2018) e *Z. tuberculosa* (Bignoniaceae) (Medeiros, 2022), em que ocorreram os melhores índices de altura e diâmetro do coleto das mudas quando submetidas à maior disponibilidade hídrica.

Figura 2 – Diâmetro do coleto de mudas oriundas de sementes osmocondicionadas (A) e não osmocondicionadas (B) de *P. marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).





A manutenção do crescimento, mesmo que em menor proporção para os demais tratamentos, pode estar relacionada com a severidade do estresse e aos mecanismos de tolerância à restrição hídrica. Em condições de déficit hídrico, muitas espécies desenvolvem mecanismos que possibilitam tolerar tais condições, porém, isso pode gerar impacto negativo no seu crescimento, justificando assim o menor incremento de altura e diâmetro do coleto nos tratamentos com suspensão de irrigação (Silva *et al.*, 2021).

Esse comprometimento foi observado nos tratamentos em que o regime hídrico foi limitado, no qual o coeficiente de robustez foi alto (Tabela 1), podendo indicar um predomínio do crescimento vertical em relação ao crescimento em diâmetro, o que pode resultar em mudas mais suscetíveis aos estresses ambientais.

Tabela 1 – Relação entre altura e diâmetro do coleto das mudas de *Pseudobombax marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).

Tratamento	Robustez (Altura / Diâmetro do coleto)
RH 4	2,17 a
RH 3	2,05 a
RH 1	1,56 b
RH 2	1,44 b

Em que: Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise dos resultados aponta para uma relação direta entre a deficiência hídrica e o desenvolvimento das mudas de *P. marginatum*, especialmente em relação ao crescimento em altura e diâmetro do coleto. A falta de água impacta diretamente a expansão celular e a formação da parede celular, podendo também influenciar a disponibilidade de carboidratos e a produção de reguladores de crescimento (Avrella, 2016; Gonçalves; Passos, 2000). A alocação de carboidratos para minimizar o estresse hídrico pode comprometer o crescimento, interferindo na relação altura e o diâmetro do coleto.

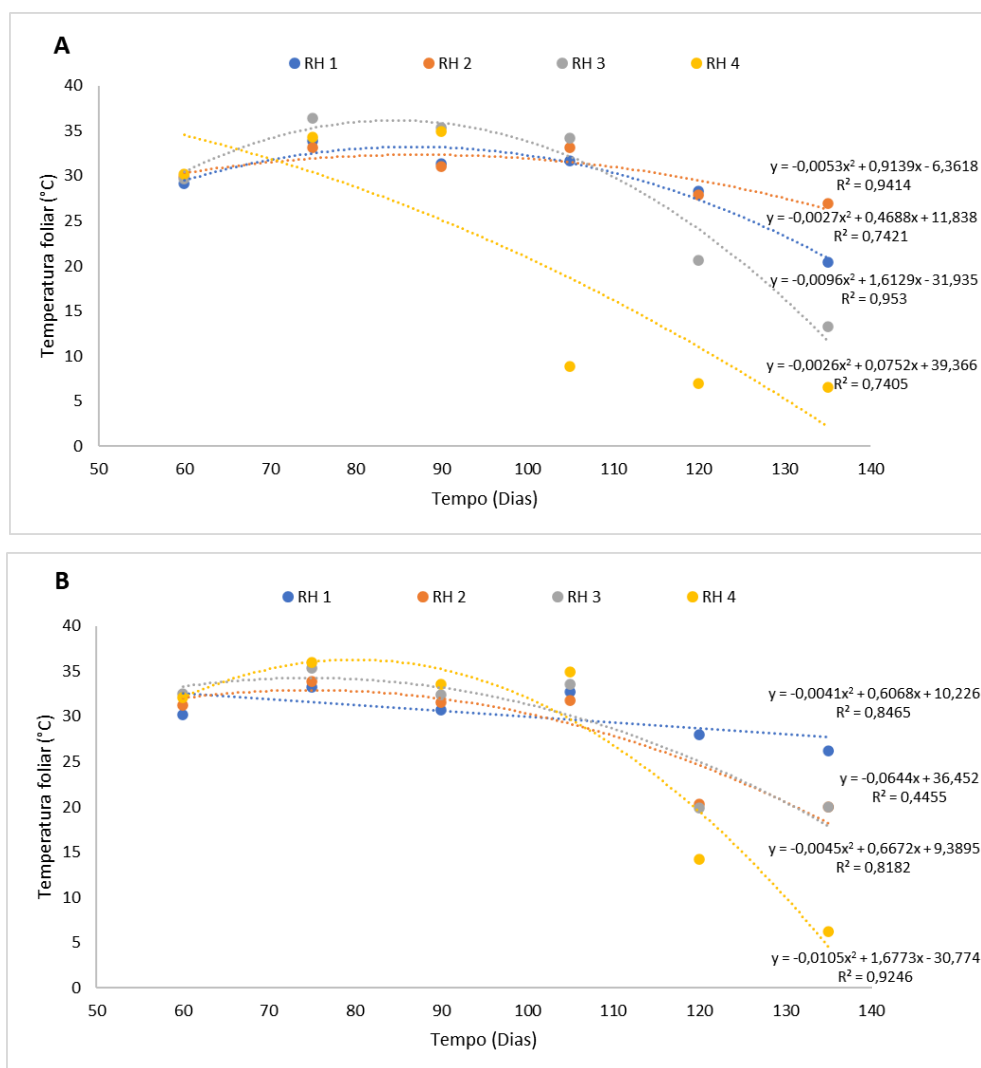
Esses resultados sugerem que, para otimizar o desenvolvimento inicial das mudas de *P. marginatum*, o manejo adequado da irrigação é essencial. Tanto a irrigação diária quanto a irrigação a cada três dias mostraram-se mais eficazes em promover o crescimento das mudas, independentemente do osmocondicionamento das sementes. Isso pode ser explicado pela capacidade desses regimes de manter um nível ideal de umidade no solo, favorecendo assim o crescimento radicular e, conseqüentemente, o desenvolvimento da parte aérea das mudas.

4.3. Temperatura foliar e clorofilas *a* e *b*

A temperatura e os índices de clorofilas *a* e *b* não apresentaram diferenças significativas de acordo com a ANOVA ($p < 0,05$) em função do osmocondicionamento e nem da interação desse com os regimes hídricos. No entanto, ao analisar isoladamente o fator irrigação, houve diferença significativa entre os tratamentos. Os valores mais significativos de temperatura foliar foram observados 75 dias após a semeadura, sendo esses apresentados na suspensão da irrigação por 6 e 9 dias nos tratamentos com sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas.

A temperatura foliar das mudas apresentou decréscimo ao longo do tempo de condução do experimento, tanto para os tratamentos com e sem osmocondicionamento, quanto para os regimes hídricos (Figura 3). No entanto, o maior nível de restrição hídrica (suspensão de irrigação por 9 dias) provocou uma redução significativa. Essas variações podem indicar a ativação de mecanismos nas mudas, como o fechamento de estômatos, para minimizar o estresse oxidativo causado pela restrição hídrica (Giordano *et al.*, 2021; Mukarram *et al.*, 2021).

Figura 3 – Temperatura foliar de mudas oriundas de sementes osmocondicionadas (A) e não osmocondicionadas (B) de *P. marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).

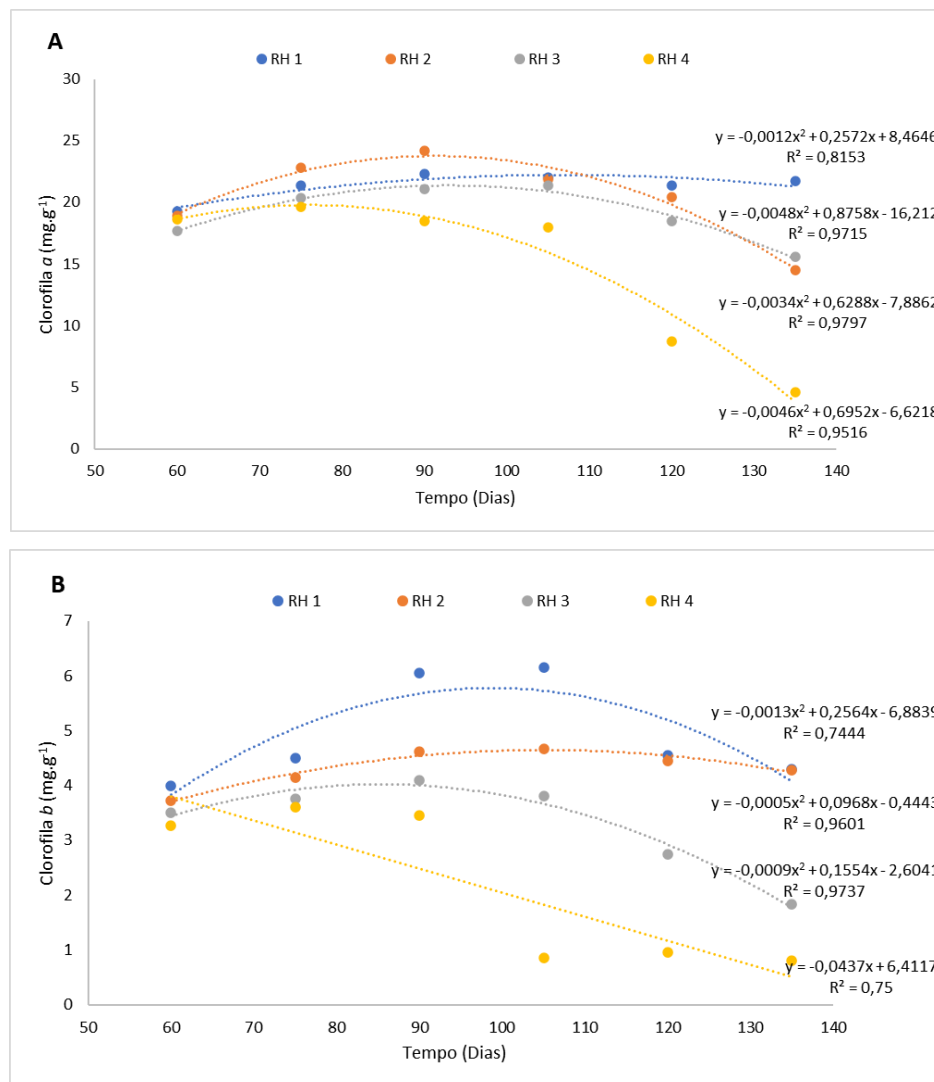


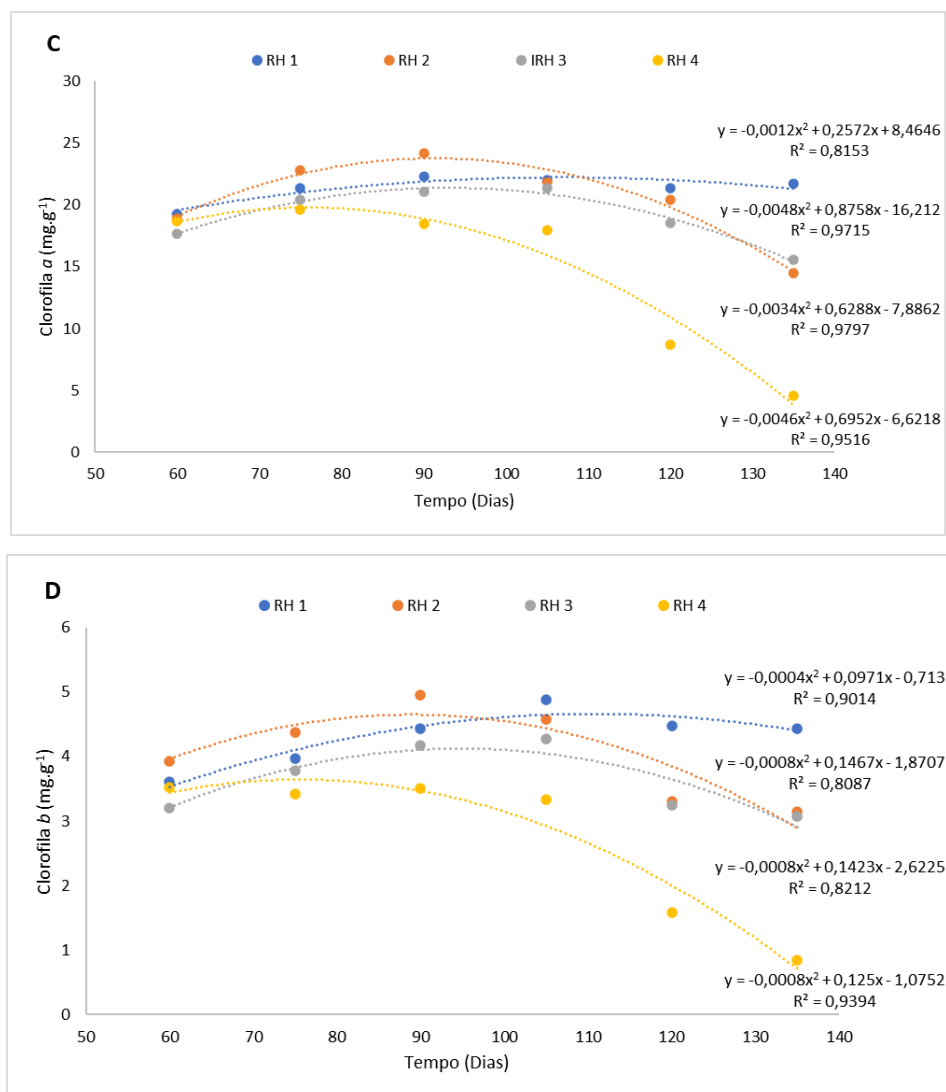
A temperatura foliar pode ser usado como indicador do grau de restrição hídrica na muda. Quando a restrição de água no substrato provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar, podendo prejudicar o metabolismo da planta (Taiz *et al.*, 2017). Portanto, os maiores valores de temperatura foliar foram observados na suspensão da irrigação por 6 e 9 dias nos tratamentos com sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas.

Os teores de clorofilas *a* e *b* variaram durante o período de avaliação, com um decréscimo mais acentuado na condição de restrição hídrica por 9 dias (Figura 4).

Tanto a clorofila *a* quanto a clorofila *b* são propensas ao nível de umidade do solo e seus níveis são diminuídos durante a seca, afetando diretamente a fotossíntese (Anjum *et al.*, 2011).

Figura 4 – Clorofilas *a* e *b* de mudas oriundas de sementes osmocondicionadas (A e B) e não osmocondicionadas (C e D) de *P. marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).





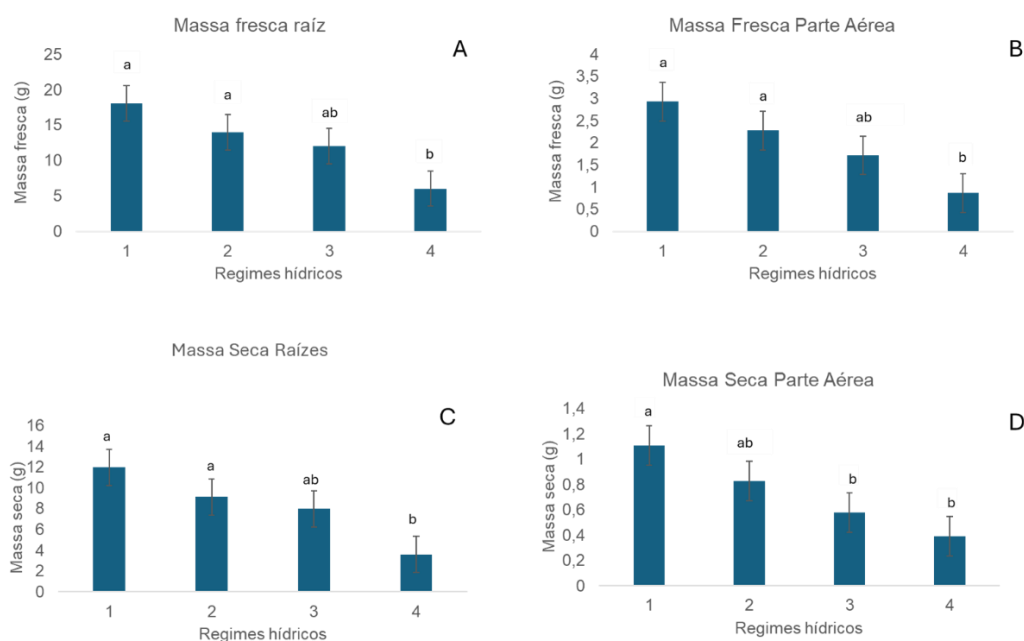
A presença significativa desses pigmentos nos tratamentos com restrição hídrica nas mudas de *P. marginatum*, independentemente do osmocondicionamento das sementes, é crucial, pois influencia o processo fotossintético das plantas. Entretanto, o tratamento com suspensão da irrigação por 9 dias causou uma severidade mais intensa, levando à senescência foliar ($p < 0,05$).

4.4. Massa fresca e seca da parte aérea e raiz

De acordo com a ANOVA ($p < 0,05$) não foi observado diferença significativa para os valores de MFR, MFPA, MSR e MSPA em relação ao osmocondicionamento das sementes e à interação desse fator com os regimes hídricos. No entanto, ao considerar apenas o fator de irrigação, observou-se uma diferença significativa entre os tratamentos, tanto para o peso fresco quanto para o peso seco da parte aérea e

raízes. De modo geral, as mudas submetidas à suspensão da irrigação por períodos prolongados apresentaram um decréscimo na produção de biomassa (Figura 5).

Figura 5 – Massa fresca do sistema radicular (A), massa fresca da parte aérea (B), massa seca do sistema radicular (C), massa seca da parte aérea (D), das mudas de *Pseudobombax marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).



Em que: Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados evidenciam a importância da água no crescimento inicial de mudas. Os tratamentos com maiores frequências de irrigação (diária e a cada três dias) proporcionaram maior acúmulo de massa fresca e massa seca ao final do período de avaliação. A água é um recurso limitado e de extrema importância para a produção de mudas de qualidade. Sendo assim, a restrição hídrica durante o crescimento inicial das mudas pode causar vários efeitos deletérios ao crescimento vegetal, como: inibição da fotossíntese, expansão radicular, em casos extremos a morte da planta (Campos *et al.*, 2021).

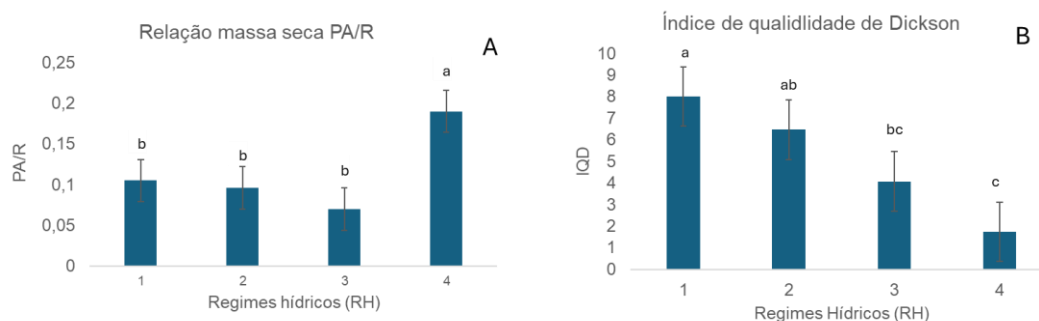
No caso da *P. marginatum*, a irrigação a cada seis e a cada nove dias comprometeu a alocação de biomassa, reduzindo o acúmulo de massa fresca e massa seca na parte aérea e raízes. Estudos relacionados com produção de mudas

em condições de estresse hídrico evidenciam que mudas com maior capacidade de produções e regeneração das suas raízes apresentaram também maior sobrevivência (Braz *et al.*, 2022; Novaes *et al.*, 2002).

4.5. Relação MSPA/MSR e IQD

De acordo com a ANOVA ($p < 0,05$), a relação MSPA/MSR foi superior no tratamento com irrigação a cada 9 dias, indicando que nesse tratamento, houve menor proporção na produção de raízes em relação à parte aérea (Figura 6A). Para o IQD, os maiores valores observados ocorreram nos tratamentos com irrigação diária e a cada três dias, indicando maior qualidade das mudas quando submetidas a esses dois tratamentos (Figura 6B).

Figura 6 – Relação massa seca parte aérea e raízes (A) e índice de qualidade de Dickson (B) das mudas de *Pseudobombax marginatum* em diferentes regimes hídricos - RH (RH 1: irrigação diária; RH 2: irrigação a cada 3 dias, RH 3: irrigação a cada 6 dias; RH 4: irrigação a cada 9 dias).



Em que: Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além disso, observou-se uma relação entre a massa seca da parte aérea e do sistema radicular das mudas provenientes de sementes não osmocondicionadas, no qual o tratamento com suspensão da irrigação por 9 dias apresentou um efeito significativo. Isso indica a possibilidade de um desequilíbrio de investimento de recursos entre a parte aérea e o sistema radicular. Este desequilíbrio é corroborado pelo baixo valor do índice de qualidade de Dickson (IQD), que sugere uma proporção desfavorável entre a parte aérea e o sistema radicular, com uma parte aérea menos desenvolvida em relação ao sistema radicular. Embora um sistema radicular mais

desenvolvido seja vantajoso em condições de estresse ambiental, como a restrição hídrica, uma parte aérea subdesenvolvida pode limitar a capacidade da planta de realizar a fotossíntese e crescer vigorosamente (Gomes; Paiva, 2013).

A análise de correlação mostrou que a maioria dos parâmetros avaliados possuem forte correlação positiva (Figura 7). Os valores observados indicam que MFR e MFPA possuem uma forte correlação, indicando que a produção de raízes contribui para o crescimento e alocação de biomassa na parte aérea. A relação MSPA/MSR apresentou correlação negativa com os demais parâmetros.

Figura 7 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros morfofisiológicos das mudas produzidas com sementes osmocondicionadas de *Pseudobombax marginatum* em diferentes regimes hídricos.



Em que: Massa fresca do sistema radicular (MFR); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa seca do sistema radicular (MSR); Massa seca da parte aérea (MSPA); Massa seca total (MST); Relação massa seca da parte aérea e raiz (MSPA/MSR); Índice de qualidade de Dickson (IQD). O tamanho do círculo e a coloração indicam a magnitude e a direção de cada correlação, respectivamente.

De acordo com os resultados observados para os parâmetros de crescimento e fisiológicos, não é possível atribuir ocorrência de memória hídrica em mudas de *P.*

marginatum produzidas com sementes osmocondicionadas. Embora o osmocondicionamento das sementes tenha sido uma estratégia utilizada para mitigar os efeitos adversos aos estresses ambientais, como o estresse hídrico, o mesmo não foi observado para a espécie.

Apesar do condicionamento fisiológico das sementes em PEG 6000 (-1,0 MPa/30 dias) não influenciar nas características morfofisiológicas das mudas e nem na ocorrência de memória hídrica, os resultados desse trabalho trazem informações e aspectos importantes relacionados à produção de mudas de *P. marginatum*. Inicialmente, foi possível observar que em condições de restrição hídrica o crescimento em altura e diâmetro das mudas é reduzido significativamente.

Com relação à temperatura foliar, o padrão foi similar para todos os tratamentos, apresentando valores decrescentes ao longo do período de avaliação. Os menores valores de temperatura foliar até o 110º dia de avaliação nos tratamentos com maior restrição hídrica indicam maior estresse hídrico das mudas nessas condições. Além das menores temperaturas foliares, as mudas submetidas a irrigação a cada seis e nove dias apresentaram menores teores de clorofilas *a* e *b*, o que pode causar comprometimento do processo de fotossíntese.

Embora o osmocondicionamento das sementes não tenha se apresentado como uma técnica aparentemente viável para a produção de mudas, o fato das características morfofisiológicas apresentarem valores similares para os tratamentos com irrigação diária e a cada três dias, permite recomendar a melhor frequência de irrigação para a espécie, conforme as condições estudadas. Considerando que a irrigação diária gera um consumo de água até 3 vezes maior do que a irrigação a cada três dias, sendo assim, o segundo regime se apresenta como uma alternativa mais econômica, sem gerar prejuízos na qualidade das mudas, nas condições estudadas.

5. CONCLUSÃO

As sementes osmocondicionadas de *P. marginatum* apresentaram uma redução na porcentagem de emergência.

Os valores do tempo médio e a velocidade de emergência para as sementes osmocondicionadas de *P. marginatum*.

A restrição hídrica por 9 dias resultou em uma redução no crescimento em altura e no crescimento do diâmetro do coleto das mudas de *P. marginatum* oriundas de sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas.

Houve decréscimo na temperatura foliar para todos os tratamentos.

Os índices de clorofila *a* e *b* foram menores nas mudas submetidas à restrição hídrica, principalmente após 9 dias de suspensão.

As mudas submetidas a irrigação a cada seis e nove dias apresentaram os menores índices de massa fresca e seca.

Os regimes de irrigação diária e a cada três dias proporcionaram os maiores valores de índice de qualidade de Dickson.

Não é possível confirmar ocorrência de memória hídrica nas sementes osmoticamente condicionadas de *P. marginatum*.

Recomenda-se a irrigação a cada três dias para as mudas de *P. marginatum*.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que o aumento na concentração de PEG 6000 reduziu a velocidade de embebição das sementes de *P. marginatum*, especialmente em potenciais osmóticos mais negativos, nos quais as fases na curva de embebição não puderam ser claramente identificadas.

Observou-se que a maior porcentagem de germinação ocorreu nas sementes submetidas ao potencial osmótico de 0,0 MPa (controle), enquanto potenciais iguais ou inferiores a -0,2 MPa inibiram completamente a germinação, evidenciando a sensibilidade dessas sementes às variações nos potenciais hídricos. Por outro lado, o osmocondicionamento das sementes em solução de PEG 6000 a -1,0 MPa por até 30 dias revelou-se promissor, proporcionando uma melhoria significativa na capacidade de germinação das sementes submetidas a condições de estresse hídrico.

Apesar da redução na porcentagem de emergência de plântulas provenientes de sementes osmocondicionadas, os valores do tempo médio e da velocidade média de emergência foram satisfatórios, proporcionando maior uniformidade na germinação. A restrição hídrica por 9 dias resultou em um decréscimo no crescimento em altura e no desenvolvimento do diâmetro do coleto das mudas, independentemente do tratamento de osmocondicionamento das sementes. Ademais, os tratamentos com suspensão da irrigação por 6 e 9 dias apresentaram os maiores valores de temperatura foliar, indicando estresse hídrico nessas condições.

Com relação aos índices de clorofilas *a* e *b*, as mudas apresentaram comportamento semelhante, com os menores valores registrados no tratamento com restrição hídrica por 9 dias. As mudas sujeitas à irrigação a cada seis e nove dias demonstraram os menores índices de massa fresca e seca, sugerindo uma menor produção de biomassa nessas condições. Por outro lado, os regimes de irrigação diária e a cada três dias proporcionaram os maiores valores de índice de qualidade de Dickson, indicando uma melhor distribuição de biomassa e, por conseguinte, maior qualidade das mudas.

Entretanto, não foram encontradas evidências que confirmassem a ocorrência de memória hídrica nas sementes osmocondicionadas de *P. marginatum* neste estudo. Esses resultados auxiliam o entendimento dos efeitos do osmocondicionamento e da restrição hídrica no processo de germinação e

desenvolvimento das mudas, contribuindo para estratégias mais eficientes de manejo e conservação das espécies florestais.

7. REFERÊNCIAS

- ALI, F.; BANO, A.; FAZAL, A. Recent methods of drought stress tolerance in plants. **Plant Growth Regulation**, 2017.
- ANJUM, S. A. *et al.* Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, 2011.
- AVRELLA, E. D. **Estresse hídrico na germinação de sementes e crescimento de mudas de *Mimosa scrabella* Benth.** 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- BAHMANI, M.; NAGHDI, R.; KARTOOLINEJAD, D. Milkweed seedlings tolerance against water stress: Comparison of inoculations with *Rhizophagus irregularis* and *Pseudomonas putida*. **Environmental Technology & Innovation**, p.111-121, 2018.
- BRAZ, H.; RISTAU, A. C. P.; VERA CRUZ, M. S. F.; VITTO, D. C.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. de M. Características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas sob restrição hídrica. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 1790–1806, 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. Brasília, DF, p. 97, 2013.
- CAMPOS, A. J. de M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Water stress in plants: a review. **Research, Society and Development**, v.10, n. 15, 2021.
- COSTA, J. R. da S. *et al.* Manejo hídrico em mudas de *Moringa oleifera*. **Acta Biológica Catarinense**, v. 10, n. 4, p.27-34, 2020.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- GIORDANO, M.; PETROPOULOS, S.A.; CIRILLO, C.; ROUPHAEL, Y. Biochemical, physiological, and molecular aspects of ornamental plants adaptation to deficit irrigation. **Horticulturae**, v.7, 2021.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: Editora UFV, 116p. 2013.
- GONÇALVES, M. R.; PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, v.10, p. 145-161, 2000.
- KUMAR, A.; VERMA, J. P. Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review. **Microbiological Research**, p. 41-52, 2018.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination os seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.48, n.2, p.263-284, 1976.

LABOURIAU, L. G. A germinação das sementes. **Monografias Científicas**, Washington, USA, p. 170, 1983.

LIAN, C.; LI, Q.; YAO, K.; ZHANG, Y.; MENG, S.; YIN, W.; XIA, X. *Populus trichocarpa* PtNF-YA9, a multifunctional transcription factor, regulates seed germination, abiotic stress, plant growth and development in *Arabidopsis*. **Frontiers in plant Science**. 2018.

LIMA, A.T; MEIADO, M.V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Mimosa tenuiflora* seeds during germination and initial development. **South African Journal of Botany**, v. 116, p. 164-167, 2018.

LIMA, A. T. **Memória hídrica de sementes: implicações ecofisiológicas durante a germinação e o desenvolvimento inicial de espécies da Caatinga**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

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

MEDEIROS, R. L. S. de. **Estresses abióticos na germinação de sementes e no desenvolvimento de mudas florestais**. 2022. 98p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2022.

MEIADO, M. V.; SILVA, F. F. S.; BARBOSA, D. C. A.; SIQUEIRA FILHO, J. A. Diaspores of the Caatinga: A Review. In: Siqueira Filho, J. A. (Org.). **Flora of the Caatinga of the São Francisco River – Natural History and Conservation**. Andrea Jakobsson Estúdio, Rio de Janeiro, p. 306-365, 2012.

MISSIO, E. L.; NUNES, U. R.; SALDANHA, C. W.; MALDANER, J., KIST STEFFEN, G. P.; MORAIS, R. M. Seeds of *Peltophorum dubium* submitted to osmotic conditioning increases germination and vigor. **Brazilian Journal of Forest Research Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, n.9, p. 1-9, 2018.

MUKARRAM, M.; CHOUDHARY, S.; KURJAK, D.; PETEK, A.; KHAN, M. M. A. Drought: Sensing, signalling, effects and tolerance in higher plants. **Physiologia Plantarum**, p. 1291-1300, 2021.

NOVAES, A. B. *et al.* Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho a campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p.675-681, 2002.

SANTOS, C. V. B. dos; MOURA, M. S. B. de; GALVÍNCIO, J. D.; CARVALHO, H. F. de S.; SILVA, M. J. da. **Análise da dinâmica hídrica da Caatinga utilizando dados de sensoriamento remoto multispectral**. In: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 3., 2018, Petrolina. Petrolina: Embrapa Semiárido, p.151-156, 2018.

SILVA, C. R. A. *et al.* Desenvolvimento biométrico de mudas de eucalipto sob diferentes lâminas de irrigação na fase de crescimento. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 381-390, 2015.

SILVA, M. B. R. *et al.* Estresse salino em plantas da espécie florestal sabiá. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 10, n. 30, p. 120-127, 2009.

SILVA, J. S. *et al.* Mechanisms of tolerance to water deficit and physiological responses to rehydration in cowpea. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n. 3, 2021.

SILVA, P. P. da. **A memória hídrica envolve mudanças na mobilização de reservas durante a germinação de sementes na espécie nativa da Caatinga *Cenostigma pyramidale***. 2024. 52 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2024.

SOUZA, N. da S. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de plantas jovens de ipê-amarelo submetidas a diferentes regimes hídricos. **Rev. Bras. Agric. Irr.**, Fortaleza, v. 12, n.7, p. 3108-3117, 2018.

SPADETO, C. *et al.* Embebição, osmocondicionamento e viabilidade de sementes de *Apuleia leiocarpa* (Vogel.) J. F. Macbr. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.1, p.80-89, jan.-mar., 2018.

TESHOME, D.T.; ZHARARE, G.E.; NAIDOO, S. The threat of the combined effect of biotic and abiotic stress factors in forestry under a changing climate. **Frontiers in plant Science**. 2020.