



Resposta germinativa de sementes de cactáceas colunares sob diferentes regimes de temperatura e de potencial hídrico

Germinative response of columnar cacti seeds under different rates of temperature and water potential

J. H. C. S. Silva*; G. A. Azerêdo; V. A. Targino

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Campus III, 58220-000, Bananeiras-PB, Brasil.

*joaohenriqueconst@gmail.com

(Recebido em 08 de julho de 2020; aceito em 08 de dezembro de 2020)

O mandacaru (*Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru*) e o facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi) são duas cactáceas colunares endêmicas do semiárido brasileiro, região caracterizada por apresentar áreas em que ocorre déficit hídrico. Assim sendo, este estudo objetivou avaliar o efeito do estresse hídrico sobre a germinação e o vigor de sementes dessas duas espécies sob diferentes temperaturas e potenciais hídricos. Para simular o estresse hídrico foram utilizadas soluções de polietilenoglicol (PEG 6000) nos seguintes potenciais hídricos: 0,0 (controle); -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa. As sementes foram distribuídas em caixas tipo “gerbox” entre papel “mata borrão”, sob as temperaturas de 25 e 30 °C. A contagem do número de sementes germinadas foi realizada diariamente durante 21 dias após a protrusão radicular. As variáveis analisadas foram: teor de água (%), germinação (%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG). O delineamento foi inteiramente casualizado seguindo o esquema fatorial de 2 × 5 (temperatura × potencial hídrico) para cada espécie. Os resultados obtidos neste estudo sugerem que o *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* e o *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* são capazes de germinar em solos com baixa disponibilidade hídrica e que a redução dos níveis osmóticos das soluções de PEG 6000 no meio germinativo provoca decréscimos na viabilidade e vigor das sementes de mandacaru e facheiro. A 30 °C há menor tolerância das sementes ao estresse hídrico.

Palavras-chave: Cactaceae, estresse hídrico, germinação

Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru*) and facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi) are two columnar cacti endemic to the Brazilian semiarid region, characterized by areas with water deficit. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of water stress on germination and seed vigor of these two species under different rates of temperatures and water potentials. To simulate water stress, polyethylene glycol solutions (PEG 6000) were used in the following water potentials: 0.0 (control); -0.2; -0.4; -0.6 and -0.8 MPa. The seeds were distributed in "gerbox" type boxes among "blotting paper", under temperatures of 25 and 30 °C. The number of germinated seeds was counted daily for 21 days after root protrusion. The variables analyzed were: water content (%), germination (%), germination speed index (GSI) and average germination time (AGT). The design was completely randomized following the factorial scheme of 2 × 5 (temperature × water potential) for each species. The results obtained in this study suggest that *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* and *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* are able to germinate in soils with low water availability and that the reduction of osmotic levels of PEG 6000 solutions in the germinative medium decreases the viability and vigor of mandacaru and facheiro seeds. At 30 °C there was less tolerance of the seeds to water stress.

Keywords: Cactaceae, water stress, germination

1. INTRODUÇÃO

A família Cactaceae está organizada no Brasil pela conjunção de 474 espécies agrupadas em 82 gêneros que se distribuem por todos os domínios fitogeográficos do país, e destas, 200 são consideradas espécies endêmicas dos ecossistemas brasileiros [1]. No Brasil, a grande maioria dos cactos é encontrada em regiões da Caatinga, Restingas e Mata Atlântica, capoeiras e matas ciliares, caracterizando-se por apresentarem caule fotossintetizante, tipo cladódio ou filocládio, com capacidade de armazenar água e nutrientes [2]. Segundo Fernandes e Queiroz (2018) [3], embora

as cactáceas encontrem-se sob uma das grandes áreas em que ocorre déficit hídrico do continente Sul-Americano, estas espécies são capazes de sobreviver em solos rasos e pedregosos.

O mandacaru (*Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru*) e o facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi) são duas cactáceas colunares endêmicas do semiárido brasileiro [4]. Essas duas espécies possuem grande importância para a sustentabilidade e conservação da biodiversidade do bioma Caatinga, uma vez que seus frutos servem de alimento para a avifauna local e nos períodos de seca seus cladódios são bastante utilizados na alimentação de animais, sobretudo ruminantes [5, 6]. Apesar da ampla distribuição na região semiárida, as sementes dessas duas espécies xerófilas estão submetidas a diversos fatores ambientais que podem influenciar no recrutamento de novos espécimes em suas populações de origem.

A escassez e salinidade de água são problemas comuns em muitas regiões do mundo. As plantas que vegetam em regiões áridas e semiáridas estão expostas a uma grande amplitude de potenciais hídricos no solo. Mas existem plantas que vivem nesses habitats e evitam a seca com alto *status* hídrico por apresentarem eficiente absorção e armazenamento de água em seus tecidos, a exemplo das cactáceas [7]. Por esse motivo, certas espécies robustas de cactos podem representar culturas promissoras nessas regiões. Portanto, estudos que visem contribuir com o conhecimento acerca da capacidade de sobrevivência e adaptação das espécies de cactos sob condições de estresse natural são de especial importância [8].

No Agreste Paraibano foram encontradas populações naturais dessas duas espécies, cujas fenofases reprodutivas são sazonais (mandacaru) e perenes (facheiro), com pico nos meses de maior e menor precipitação pluviométrica, respectivamente [9]. Os solos onde estas populações ocorrem e coexistem apresentam restrições hídricas e elevada amplitude térmica, o que limita o estabelecimento de algumas plantas, fazendo com que algumas espécies, a exemplo do mandacaru, apresentem recrutamento de plântulas no início da estação chuvosa, período em que as temperaturas são amenas [10].

Para germinar e se estabelecer em ecossistemas áridos e semiáridos, muitas espécies de cactos são influenciadas por fatores bióticos e abióticos e apresentam diversas estratégias para a germinação de suas sementes [11]. O sucesso no processo germinativo está intimamente relacionado ao movimento de água por meio dos tecidos da semente e dentre os diversos fatores ambientais que determinam a germinação, a disponibilidade hídrica é um dos mais importantes, uma vez que a água é responsável pela reidratação dos tecidos e das atividades metabólicas do embrião, além de provocar o rompimento do tegumento e facilitar a protrusão radicular [12]. Em laboratório, na condução de ensaios experimentais com estresse hídrico e/ou salino, algumas substâncias são bastante utilizadas para simular o déficit hídrico, como o polietilenoglicol 6000 (PEG), soluções de manitol e sais como NaCl, CaCl₂, KCl, MgCl₂.

O Semiárido Nordeste caracteriza-se por apresentar áreas em que ocorre déficit hídrico, seja por razões climáticas ou condições do tipo de solo. Assim, o entendimento sobre a tolerância das plantas ao estresse hídrico e como explorá-las, é de extrema importância [13]. Estudos sobre as exigências hídricas para germinação das sementes de cactos podem ser esclarecedores para se conhecer as estratégias de sobrevivência desse grupo de plantas, uma vez que poucos são os dados encontrados na literatura, a exemplo dos trabalhos com *Cereus jamacaru* [14, 15], *Hylocereus* spp. [8, 16, 17], *Pereskia grandifolia* [18], *Pilosocereus cattingicola* [19, 20] e *Discocactus* spp. [21]. Apesar de terem sido encontrados trabalhos com *Cereus jamacaru* nesta linha de pesquisa, estes não envolviam regimes de temperatura.

Diante das limitações de informações sobre a performance das sementes de *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* e *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* sob diferentes condições hídricas e térmicas, simultaneamente, são de grande importância estudos que visem contribuir com o conhecimento básico sobre a ecofisiologia das sementes e a perpetuação destas espécies. Assim sendo, este estudo objetivou avaliar o efeito do estresse hídrico sobre a germinação e o vigor de sementes de mandacaru e facheiro sob diferentes temperaturas e potenciais hídricos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Tecnologia de Sementes do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Campus III, Bananeiras/PB. As

sementes foram provenientes de frutos maduros coletados de indivíduos de *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* e *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* em população natural em um ecótono situado no município de Bananeiras, PB. O município está localizado na Mesorregião do Agreste, mais especificamente na Microrregião do Brejo do Estado da Paraíba, com as coordenadas 06°45'00"S e 35°37'00"W, inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, a uma altitude de aproximadamente de 526 metros. O clima da região é classificado como As', (tropical chuvoso) quente e úmido (Classificação de Köppen) e se caracteriza por apresentar temperaturas de 18 a 27 °C e precipitação média anual de 1200 a 1500 mm, com chuvas de outono a inverno (concentradas nos meses de maio a agosto) [22]. O solo apresenta-se em sua maior parte como um Latossolo vermelho amarelo textura franco arenosa a franco argilosa. O local de coleta dos frutos está situado a aproximadamente 11 km da sede do município e trata-se de uma propriedade privada denominada Sítio Umburana, com uma área total de 11,5 ha. A fitofisionomia da área caracteriza-se como formações florestais de caatinga em diferentes níveis de sucessão ecológica.

Para a identificação dos espécimes foram coletadas partes botânicas com presença de descritores, as quais foram acondicionadas em estufa de circulação de ar a 65 °C por 48 horas e posteriormente herborizadas. As exsiccatas foram enviadas para o Centro de Ciências Agrárias (CCA) “Herbário Jayme Coelho de Moraes” (EAN/UFPB), para identificação por meio de comparação com materiais que fazem parte da coleção do herbário, como também, foram feitas comparações com a literatura especializada. A sinonímia e a grafia dos táxons foram atualizadas mediante consulta ao índice de espécies do banco de dados Flora do Brasil® [23] e Tropicos® [24].

Logo após a colheita dos frutos, no mês de abril de 2019, foi efetuado o despulpamento no laboratório, mediante a maceração destes em peneiras, com posterior lavagem em água corrente. Em seguida, as sementes foram postas para secar a sombra, durante três dias, sobre a bancada do laboratório. Após esse período, as sementes foram conservadas em embalagem de papel até a condução do ensaio experimental que ocorreu uma semana após o beneficiamento dos frutos.

Para simular o estresse hídrico utilizou-se polietilenoglicol 6000 (PEG) nos seguintes potenciais hídricos: 0,0 (água destilada); -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa, cujas soluções foram preparadas de acordo com Villela, Doni Filho e Sequeira (1991) [25]. As sementes foram colocadas para germinar sobre papel “mata borrão”, previamente esterilizado e umedecido com as soluções de PEG no volume (mL) equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco, com duas folhas na base distribuídas em caixas de plástico transparentes tipo “gerbox” com dimensões 11 × 11 × 3,5 cm e mantidas em germinador do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sob as temperaturas constantes de 25 e 30 °C com fotoperíodo de 12 horas.

A contagem do número de sementes germinadas foi realizada diariamente durante 21 dias após a protrusão radicular, sendo este, o critério estabelecido para a germinação. As variáveis analisadas foram: teor de água (%), porcentagem de germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) – calculado conforme equação proposta por Maguire (1962) [26] e tempo médio de germinação (TMG) – calculado utilizando-se a fórmula proposta por Labouriau (1983) [27]. O teor inicial de água das sementes foi determinado com quatro repetições de 100 sementes cada, para ambas as espécies, sendo estas pesadas em balança de precisão de 0,0001g e secas pelo método de estufa a 105 ± 3°C por 24 horas [28].

O delineamento consistiu em dois arranjos fatoriais, sendo o primeiro de 2 × 5 (espécie × potencial hídrico), para cada temperatura; e o segundo de 2 × 5 (temperatura × potencial hídrico), para cada espécie, ambos os ensaios com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. As análises estatísticas foram processadas nos *softwares* ESTAT/Jaboticabal® [29] e no Microcal Origin® 6.0 [30]. O efeito do potencial hídrico para cada combinação temperatura/espécie foi também avaliada por análises de regressão. Devido à ocorrência de estimativas negativas para algumas características, principalmente nos potenciais hídricos mais negativos, procedeu-se ao ajuste das equações, utilizando metodologia de Pôrto et al. (2006) [31], cujo modelo adotado foi o Logística 1:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-xc)}}$$

Em que: y = valor da característica para um determinado valor de x (potencial hídrico); a = valor máximo da característica y; e = base do logaritmo neperiano; k = taxa relativa de crescimento (no caso presente de redução de y); xc = valor de x (potencial hídrico) que proporciona uma redução

no valor máximo da característica em 50%, corresponde ao potencial hídrico no ponto de inflexão da curva.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 1) houve efeito significativo da interação espécie \times potencial hídrico e dos fatores isolados para todas as características, com exceção do tempo médio de germinação (TMG) na temperatura de 30 °C. Na interação temperatura \times potencial hídrico (Tabela 2) a interação também foi significativa para ambas as espécies e para todas as características avaliadas. Só não houve efeito significativo para o fator temperatura, considerando a espécie *C. jamacaru* ssp. *jamacaru* na variável IVG (Tabela 2).

Tabela 1: Análise de variância para germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) e *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) sob as temperaturas de 25 e 30 °C, seguindo um esquema fatorial espécie (E) \times potencial hídrico (PH).

Fontes de variação	Quadrados Médios		
	25 °C		
	G	IVG	TMG
Espécie (E)	336,4000**	6,1623**	19,1822**
Potencial hídrico (PH)	10867,7500**	85,8609**	146,4440**
E \times PH	939,6500**	11,9304**	6,9948**
Resíduo	44,0667	0,3724	0,5661
Média	48,0000	3,5525	6,6725
CV (%)	13,82	17,17	11,27
	30 °C		
Espécie (E)	2528,1000**	52,410**	4,2250*
Potencial hídrico (PH)	10963,1000**	117,0179**	135,7459**
E \times PH	445,6000**	14,3879**	1,5106 ^{ns}
Resíduo	16,7000	0,2052	0,6448
Média	32,9500	3,0950	4,2400
CV (%)	12,40	14,63	18,93

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} – não significativo.

Tabela 2: Análise de variância para germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) e *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) sob as temperaturas de 25 e 30 °C, seguindo um esquema fatorial temperatura (T) \times potencial hídrico (PH).

Fontes de variação	Quadrados Médios		
	<i>Pilosocereus pachycladus</i> subsp. <i>pernambucoensis</i>		
	G	IVG	TMG
Temperatura (T)	7236,1000**	14,6410**	78,4000**
Potencial hídrico (PH)	7146,1000**	42,8479**	99,0671**
T \times PH	918,6000**	3,4579**	61,2969**
Resíduo	30,0333	0,1705	0,6992
Média	38,4500	2,5550	5,9650
CV (%)	14,25	16,16	14,01
	<i>Cereus jamacaru</i> subsp. <i>jamacaru</i>		
Temperatura (T)	176,4000*	0,8703 ^{ns}	42,6423**
Potencial hídrico (PH)	15321,2500**	181,1035**	96,9865**
T \times PH	121,1500**	1,7877**	33,3447**
Resíduo	24,73	0,4071	0,5117
Média	43,0000	4,0925	4,9475
CV (%)	11,56	15,59	14,45

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} – não significativo.

O teor de água das sementes de *C. jamacaru* ssp. *jamacaru* e *P. pachycladus* ssp. *pernambucoensis*, por ocasião do experimento, foi de 12% para ambas as espécies. Abud et al. (2012) [32] encontraram teor de água semelhante para outra espécie de cactácea colunar, o *Pilosocereus gounellei*, variando entre 9,5 e 11%, após a extração das sementes.

Os valores médios de germinação das sementes de mandacaru e facheiro em função dos potenciais hídricos para cada temperatura isoladamente estão apresentados na Figura 1. No tratamento controle (0,0 MPa), a 25°C (Figura 1A), a germinação foi elevada para as duas espécies, com 90 e 73%, para as sementes de mandacaru e facheiro, respectivamente. Nesta temperatura, à medida que os potenciais tornaram-se mais negativos, houve uma redução no percentual de germinação das sementes das duas espécies. No entanto, apesar de o percentual de germinação de *C. jamacaru* ter sido superior nos maiores potenciais hídricos, constatou-se uma baixa tolerância dessa espécie em potenciais hídricos menores, quando comparado ao *P. pachycladus*. Em potenciais como -0,4 e -0,6 MPa o percentual de germinação das sementes de *C. jamacaru* foi de aproximadamente 46 e 2%, respectivamente, enquanto que para as sementes de *P. pachycladus* os percentuais de germinação, nestes mesmos potenciais, foram, respectivamente, de 66 e 38%. Quando se utilizou a temperatura de 30 °C (Figura 1B), essa redução foi ainda mais acentuada, para ambas as espécies, indicando que sob temperatura mais elevada, o estresse hídrico foi mais severo.

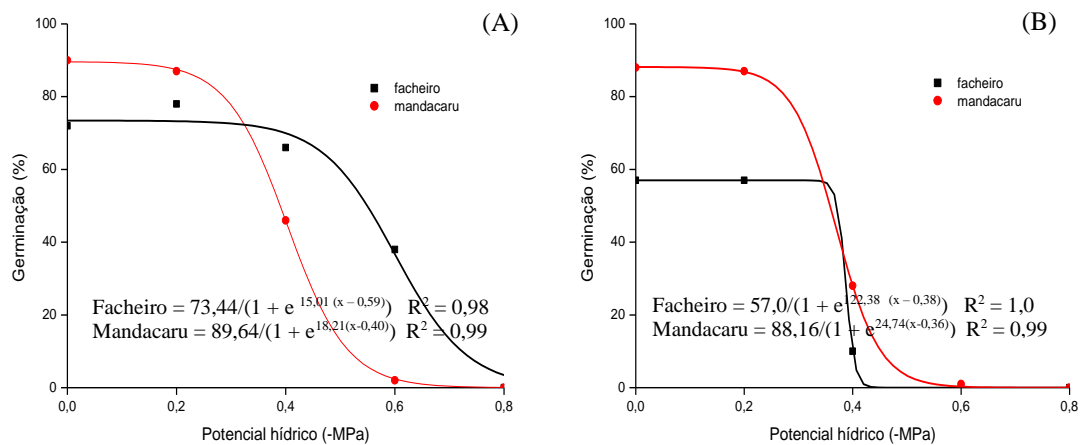


Figura 1: Germinação (%) de sementes de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) e *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) induzidos com PEG 6000 sob as temperaturas de 25 (A) e 30 °C (B).

Analisando-se as equações obtidas pelo modelo Logística 1, observou-se, na temperatura de 25 °C (Figura 1A), que os potenciais hídricos que proporcionaram uma redução no valor máximo da característica em 50% para as sementes de *C. jamacaru* e *P. pachycladus* foram -0,40 e -0,59 MPa, correspondendo à 46% (mandacaru) e 36% (facheiro) de germinação, respectivamente. Enquanto que a 30 °C (Figura 1B), os potenciais hídricos que proporcionaram essa redução de 50% do valor máximo obtido foram -0,36 e -0,38 MPa para as sementes de *C. jamacaru* e *P. pachycladus*, correspondendo à 44 e 29%, respectivamente, demonstrando que sob a temperatura de 30 °C o estresse provocado pela adição de PEG foi mais prejudicial, pois os potenciais hídricos que proporcionaram uma redução de 50% do valor máximo ficaram abaixo de -0,4 MPa, o que não foi observado sob a temperatura de 25 °C, especialmente com o facheiro.

Meiado et al. (2010) [14], estudando a resposta germinativa das sementes de *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* à diversos fatores ambientais, dentre eles o estresse hídrico, observaram uma diminuição na germinação das sementes com a redução da disponibilidade de água sob a temperatura constante de 30 °C. Os autores ainda verificaram que houve germinação (< 5%) nos potenciais hídricos de -0,6 e -0,8 MPa. Ortiz, Urbano e Takahashi (2019) [15] também constataram baixos percentuais de germinação das sementes de mandacaru nos potenciais de -0,6 e -0,8 MPa com valores de 2,86% e

0,36%, respectivamente, sob a temperatura de 25 °C. Resultados similares foram encontrados no presente trabalho, cujos percentuais de germinação das sementes de mandacaru foram de 2% (-0,6 MPa) e 0% (-0,8 MPa) na temperatura de 25 °C (Figura 1A). Na temperatura de 30 °C não foi constatada germinação nestes potenciais para nenhuma das espécies. Esse desempenho germinativo em soluções de PEG deve-se provavelmente a uma redução da absorção de água pelas sementes e não a um efeito tóxico do PEG, visto que o polietilenoglicol é considerado um composto inerte e não tóxico, como tem sido descrito na literatura [33].

Nascimento, Meiado e Siqueira-Filho (2018) [21], investigando a influência do estresse hídrico sobre a germinação de sementes de três subespécies de cactos globosos (*Discocactus* spp.) verificaram reduções significativas na germinação com o aumento da concentração de PEG 6000. Para *D. bahiensis*, a germinação reduziu de 83% no tratamento controle para 7% na concentração de -0,6 MPa. Para *D. zehntneri* subsp. *zehntneri*, a germinação reduziu de 98% (controle) para 4% na concentração de -0,6 MPa e para *D. zehntneri* subsp. *petr-halfarii*, a germinação reduziu de 97% (controle) para 3% na concentração de -0,6 MPa. De acordo com esses autores as sementes das três subespécies mostraram tolerância ao estresse hídrico, pois foi observada germinação em potenciais de até -0,6 MPa nas soluções de PEG. Mas, a partir desse potencial não foi observada germinação. Deve-se destacar que as sementes de *Discocactus* spp. foram postas para germinar sob a temperatura de 30 °C, considerada a ideal para a germinação dessas espécies.

Quando a germinação foi avaliada comparando-se as temperaturas em função dos potenciais hídricos, considerando cada espécie (Figura 2A; Figura 2B), constatou-se que a temperatura de 25 °C promoveu um percentual de germinação acima de 70% no tratamento controle para as sementes de facheiro (Figura 2A), enquanto que na temperatura de 30 °C, este percentual foi de apenas 57% nesse mesmo tratamento. Além disso, os efeitos da temperatura de 30 °C associados ao estresse hídrico induzido com PEG 6000 inibiram a germinação dessa espécie em potenciais hídricos mais negativos, visto que a partir de -0,4 MPa não foi constatada germinação. Neste potencial hídrico (-0,4 MPa) a germinação das sementes de facheiro decresceu de 66%, na temperatura de 25 °C para 10%, a 30 °C (Figura 2A). Para as sementes de mandacaru (Figura 2B), nesse mesmo potencial, a germinação decresceu de 46% (25 °C) para 28% (30 °C). Ou seja, em ambas as temperaturas, a germinação dessas espécies diminuiu, conforme os potenciais hídricos ficaram mais negativos, porém os efeitos mais nocivos ocorreram sob a temperatura de 30 °C, principalmente no caso do facheiro.

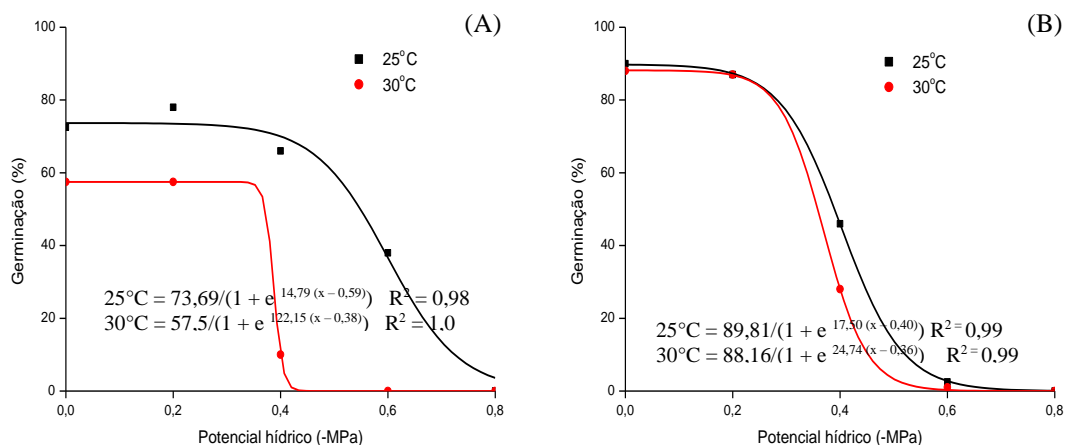


Figura 2: Germinação (%) de sementes de *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) (A) e *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) (B) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) induzidos com PEG 6000 sob as temperaturas de 25 e 30 °C.

Observando-se as equações logísticas (Figuras 2A e 2B), constatou-se, para o facheiro (Figura 2A), que os potenciais hídricos que proporcionaram uma redução no valor máximo da característica

em 50% nas temperaturas de 25 e 30 °C foram -0,59 e -0,38 MPa, respectivamente. Para o mandacaru (Figura 2B), os potenciais hídricos que proporcionaram essa redução foram -0,40 e -0,36 MPa nas temperaturas de 25 e 30 °C, respectivamente. Apesar de alguns estudos reportarem as temperaturas de 25 e 30 °C como ótimas para a germinação dessas duas espécies de cactáceas [9], as sementes de *P. pachycladus* utilizadas nesta pesquisa obtiveram melhores desempenhos germinativos na temperatura de 25 °C, independente do potencial hídrico avaliado (Figura 2A). Esse comportamento verificado nas sementes de facheiro pode estar associado às características genéticas da espécie e aos fatores climáticos da área de procedência dessas sementes, visto que há relação entre a temperatura ótima de germinação e o ecossistema de ocorrência da espécie, partindo do princípio de que a temperatura ótima para a germinação é resultado da adaptação fisiológica das sementes às condições ambientais do local onde elas foram produzidas [34].

Oliveira et al. (2017) [18] ao avaliarem se o aumento da temperatura reduz a tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de *Pereskia grandifolia* ssp. *grandifolia* (Cactaceae), os autores perceberam diferenças no desempenho germinativo entre as temperaturas de 25 e 30 °C em todos os potenciais avaliados e verificaram que a redução do potencial osmótico propiciou uma diminuição da germinabilidade das sementes, independentemente da temperatura avaliada. Entretanto, uma redução mais drástica na germinabilidade foi observada quando essas sementes foram submetidas ao déficit hídrico na temperatura de 30 °C, ou seja, o aumento da temperatura reduz a tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de *P. grandifolia* ssp. *grandifolia*. Esses autores constataram que a temperatura também influenciou significativamente a germinabilidade das sementes, sendo observadas mais sementes germinadas na temperatura de 25 °C. Esses resultados corroboram com os encontrados no presente estudo com as espécies *C. jamacaru* ssp. *jamacaru* e *P. pachycladus* ssp. *pernambucoensis*.

Quanto ao índice de velocidade de germinação (Figura 3A; Figura 3B) verificou-se que à medida que os potenciais hídricos diminuíram ocorreu uma redução desse índice para as sementes de facheiro e mandacaru, independente da temperatura avaliada. Observou-se, na temperatura de 25 °C (Figura 3A), que os potenciais hídricos que proporcionaram uma redução no valor máximo do IVG em 50% para as sementes de facheiro e mandacaru foram de -0,49 MPa e -0,38 MPa, respectivamente. Na temperatura de 30 °C (Figura 3B), essa redução do valor máximo em 50% foi obtida nos potenciais -0,27 (facheiro) e -0,29 MPa (mandacaru). Ou seja, na temperatura de 25 °C o facheiro demonstrou maior tolerância ao estresse hídrico em potenciais mais negativos, quando comparado ao mandacaru; enquanto que na temperatura de 30 °C as espécies apresentaram similaridade no potencial hídrico correspondente a 50% do valor máximo do IVG.

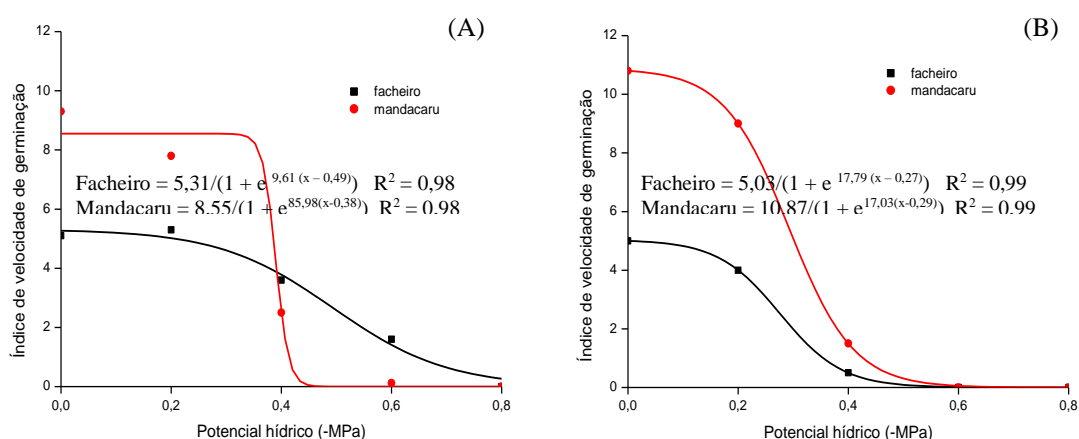


Figura 3: Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) e *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) induzidos com PEG 6000 sob as temperaturas de 25 (A) e 30 °C (B).

Deve-se destacar que apesar do *C. jamacaru* ter obtido elevados percentuais de germinação (Figura 1A; Figura 1B) e IVG (Figura 3A; Figura 3B) no tratamento controle para ambas as temperaturas, essa espécie foi menos tolerante ao estresse hídrico na temperatura de 25 °C, quando comparada ao *P. pachycladus*, uma vez que os valores médios de germinação (%) e IVG do *P. pachycladus* foram superiores em potenciais mais negativos, como a -0,4 e -0,6 Mpa, por exemplo. Porém, na temperatura de 30 °C nota-se que o *C. jamacaru* se sobressaiu em relação ao *P. pachycladus* para estas variáveis, ainda que as duas espécies tenham apresentado baixos valores de G% e IVG em -0,4 MPa, pois, nestas condições, o percentual de germinação e IVG do *C. jamacaru* foram, respectivamente, de 28% e 1,5; enquanto que do *P. pachycladus* foram de 10% e 0,5, respectivamente.

Ao analisar o IVG, comparando-se as temperaturas nos diferentes potenciais hídricos para cada espécie (Figura 4A; Figura 4B), percebeu-se, de maneira geral, um decréscimo para esta variável à medida que os potenciais tornavam-se mais reduzidos. Esse decréscimo foi ainda mais perceptível na temperatura de 30 °C, pois as sementes das duas espécies apresentaram maior sensibilidade ao estresse em potenciais mais negativos, especialmente, o facheiro. Para as sementes de *P. pachycladus* (Figura 4A), na temperatura de 25 °C, o potencial hídrico que proporcionou uma redução no valor máximo do IVG em 50% foi de -0,49 MPa com valor igual a 2,65, enquanto que a 30 °C, nesse mesmo potencial, os valores ficaram próximos de zero. O índice que corresponde a 50% do valor máximo foi alcançado na temperatura de 30 °C em um potencial hídrico bem maior (-0,28 MPa), evidenciando uma menor tolerância ao estresse quando esses dados são comparados com a temperatura de 25 °C. Já com as sementes de *C. jamacaru*, os potenciais hídricos que proporcionam uma redução no valor máximo do IVG em 50% foram -0,32 MPa (25 °C) e -0,29 MPa (30 °C), não se observando diferenças acentuadas entre as duas temperaturas.

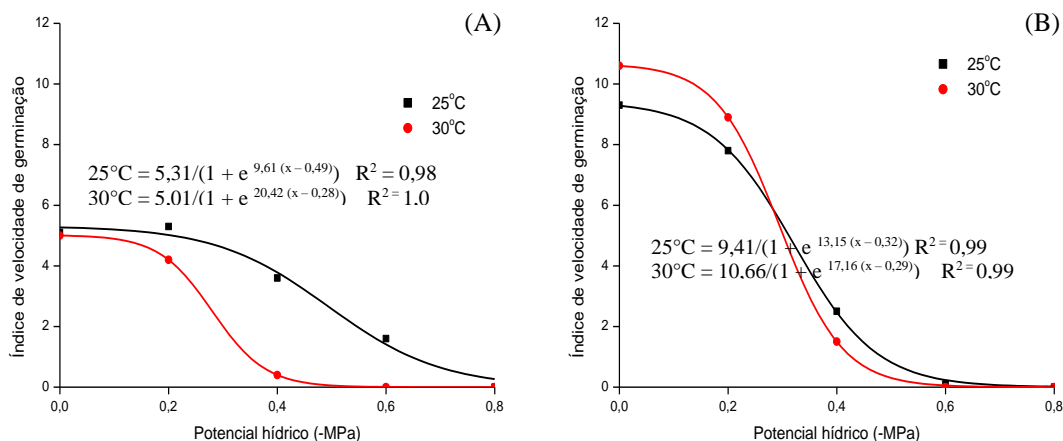


Figura 4: Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) (A) e *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) (B) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) induzidos com PEG 6000 sob as temperaturas de 25 e 30 °C.

Estudos recentes, avaliando o efeito combinado de temperaturas e potenciais hídricos em sementes de outras espécies de cactáceas demonstraram que os melhores resultados foram obtidos na temperatura 25 °C do que a 30 °C ou superior [35, 36, 37]. De acordo com esses estudos, a diminuição do potencial hídrico e o aumento da temperatura resultaram em baixa germinação, com comportamentos distintos entre as espécies e as populações estudadas. Além disso, o desenvolvimento das plântulas foi negativamente afetado pela combinação desses fatores, principalmente em baixos potenciais hídricos. Sugerindo, portanto, que as espécies estudadas seriam severamente afetadas por mudanças na temperatura e precipitação, conforme previsto em um cenário de mudança climática futura.

Ortiz et al. (2014) [8], ao avaliarem o efeito do estresse hídrico e salino sobre o vigor e a viabilidade de sementes de três genótipos de pitaya (*Hylocereus* spp.), utilizando diferentes agentes osmoticamente ativos (PEG 6000, KCl, NaCl e MgCl₂), verificaram que os valores de germinação, IVG e TMG para todos os três genótipos de pitaya foram ótimos com os sais KCl e NaCl, independentemente do potencial osmótico. Mas, em potenciais osmóticos inferiores a -0,2 MPa, o polímero PEG 6000 foi prejudicial ao vigor e à viabilidade das sementes de pitaya. Segundo esses autores, o efeito osmótico induzido pelo PEG 6000 influenciou negativamente o vigor e a viabilidade das sementes de pitaya em maior extensão do que o efeito dos sais. Isto ocorreu devido a característica da viscosidade da solução PEG 6000, uma vez que a difusão de oxigênio pode ser menor ao usar o PEG 6000 do que com uma solução contendo sais. Zerpa-Catanho et al. (2019) [17] também verificaram que o estresse hídrico simulado com PEG 6000 foi mais nocivo à germinação das sementes de pitaya quando comparado aos efeitos do NaCl. Contudo, estes autores observaram que em -0,5 MPa o PEG 6000 não causou efeito negativo, fazendo com que as sementes tivessem resultados semelhantes ao tratamento controle, sugerindo, portanto, a existência de um certo grau de tolerância ao estresse hídrico em *Hylocereus* spp. Apesar de não ter sido testado o estresse salino no presente trabalho, é interessante evidenciar que o polietilenoglicol é um forte agente osmótico quando comparado aos demais agentes estressores comumente utilizados em laboratório.

Em relação ao tempo médio de germinação (Figura 5A; Figura 5B), apesar de as estimativas terem sido negativas para a equação quadrática, os dados não se ajustaram à equação Logística 1 adotada para as outras variáveis, logo, optou-se, então, por ela mesma (equação quadrática). Observou-se, no tratamento controle, menor TMG para ambas as espécies na temperatura de 25 °C (Figuras 5A) e 30 °C (Figura 5B). Porém, à medida que o potencial hídrico foi diminuindo, as sementes necessitaram de mais tempo para germinar, aumentando o tempo médio de germinação. Na temperatura de 25 °C (Figura 5A), as sementes de *C. jamacaru* e *P. pachycladus* do tratamento controle levaram cerca de quatro e sete dias para germinar, respectivamente. Quando o potencial hídrico foi de -0,6 MPa as sementes de mandacaru e de facheiro levaram em torno de nove e doze dias para germinarem, respectivamente. Analisando-se a temperatura de 30 °C (Figura 5B), as sementes do tratamento controle germinaram em torno de quatro (mandacaru) e seis (facheiro) dias, mas à -0,6 MPa o TMG obtido foi igual a zero para as duas espécies, uma vez que nesse potencial não ocorreu germinação.

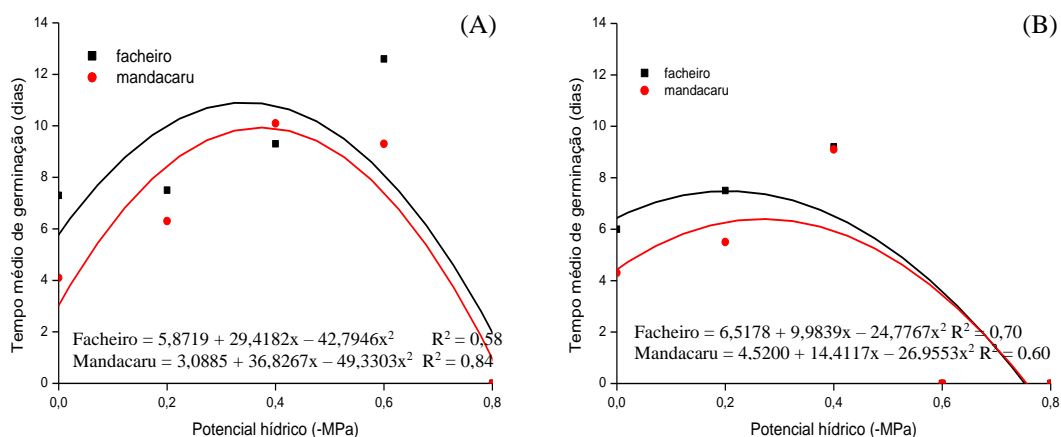


Figura 5: Tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (mandacaru) e *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. *pernambucoensis* (F.Ritter) Zappi (facheiro) - (*Cactaceae*) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) induzidos com PEG 6000 sob as temperaturas de 25 (A) e 30 °C (B).

Comparando-se as temperaturas em função dos diferentes potenciais hídricos, observou-se um aumento do TMG com a redução da disponibilidade hídrica para as duas espécies em ambas as temperaturas (Figuras 6A e 6B). As sementes de facheiro (Figura 6A) submetidas à -0,2 MPa

apresentaram TMG similar ao tratamento controle nas duas temperaturas. De acordo com Barrios et al. (2020) [38], a germinação de algumas espécies de cactos podem ser favorecidas neste potencial hídrico ou até em potenciais mais negativos. Segundo esses autores, esta característica de germinar e se desenvolver em regiões com baixa disponibilidade hídrica, faz das cactáceas um grupo de plantas vantajosas em ambientes áridos e semiáridos.

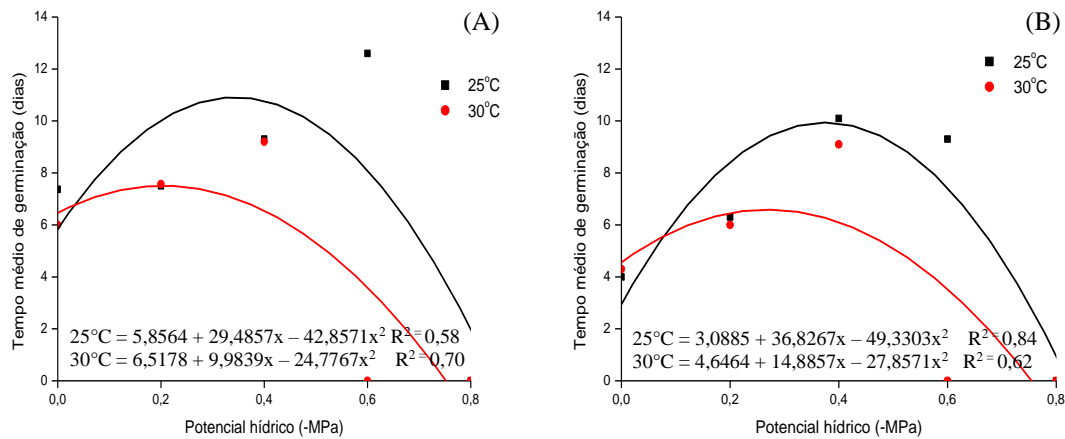


Figura 6: Tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Pilosocereus pachycladus* F.Ritter subsp. pernambucoensis (F.Ritter) Zappi (facheiro) (A) e *Cereus jamacaru* DC. subsp. jamacaru (mandacaru) (B) - (Cactaceae) submetidas a diferentes potenciais hídricos (-MPa) induzidos com PEG 6000 sob as temperaturas de 25 e 30 °C.

Nos potenciais hídricos mais negativos, como -0,6 e -0,8 MPa, independente da temperatura, foi observado que algumas sementes de *C. jamacaru* e *P. pachycladus* apresentavam-se intumescidas e envolvidas por um exsudato aquoso. Fenômeno semelhante foi observado em sementes de *Gliricidia sepium* (Fabaceae) por Farias et al. (2009) [39], quando estas foram submetidas a potenciais osmóticos mais negativos induzidos com PEG 6000 e NaCl. Essas sementes, segundo os autores, estavam envolvidas por um exsudato de aspecto gelatinoso, provavelmente numa tentativa de reduzir o contato direto com o agente estressor, o que pode ser interpretado como um mecanismo de adaptação dessa espécie ao estresse. Quando a água é removida, seja por seca ou presença de sais, abaixo do limite tolerado pela célula pode levar a um aumento na concentração de soluto, alterações no pH da solução intracelular, aceleração nas reações degenerativas, desnaturação de proteínas, perda da integridade da membrana e aumento no número de plântulas danificadas e anormais [40, 41].

Neste trabalho, observou-se também a presença de plântulas anormais de *C. jamacaru* e *P. pachycladus* em potenciais como -0,6 MPa, as quais apresentavam sistema radicular atrofiado. Isso ocorre porque o alongamento e a síntese da parede celular são processos altamente sensíveis ao déficit hídrico e o fitormônio ácido abscísico pode ter causado inibição do processo de alongamento celular, o que é comum ocorrer quando se submete sementes a baixa disponibilidade hídrica [42]. Bradford (1990) [43] explica que, em condições de estresse hídrico, as sementes têm água suficiente para iniciar o processo germinativo (fases I e II) sem, contudo, iniciar o crescimento da raiz primária (fase III). Além de a restrição hídrica reduzir a velocidade dos processos fisiológicos e bioquímicos, também limita a alocação e síntese de reservas para o eixo embrionário [44], o que pode explicar o fato das plântulas de *C. jamacaru* e *P. pachycladus* serem menos vigorosas em potenciais hídricos mais negativos como -0,4 e -0,6 MPa.

Lima e Meiado (2017) [19] chamam a atenção para o fato de que a hidratação das sementes de cactos depende muitas vezes do microclima e do habitat onde os espécimes estão inseridos, uma vez que populações que ocorrem em diferentes ecossistemas podem apresentar diferentes respostas germinativas após passarem por ciclos de hidratação e desidratação e serem submetidas ao estresse, evidenciando que as características ambientais estão diretamente relacionadas à memória hídrica

das sementes. Além disso, de acordo com esses autores, os estudos conduzidos em ambiente controlado de laboratório que avaliam a influência dos fatores abióticos sobre a germinação e o vigor de sementes de cactos devem ser considerados com cautela, pois não expressam a verdadeira tolerância aos estresses ambientais que as sementes apresentam em condições naturais no campo.

Segundo Dantas et al. (2020) [45], nos próximos anos prevê-se um aumento de ± 4 °C na temperatura do solo e uma redução de 30% na precipitação em florestas tropicais secas, como a Caatinga, fazendo com que essas áreas se tornem mais áridas e salinas devido ao aumento da temperatura global e à seca. Segundo esses autores, a precipitação será extremamente limitante para a germinação das sementes e pode não ser suficiente para o recrutamento de plântulas de algumas espécies no seu ambiente natural. Embora algumas espécies da Caatinga sejam tolerantes a essas condições, a capacidade de germinação para suportar as temperaturas extremas do solo e o déficit hídrico associado às mudanças climáticas ainda precisam ser quantificados. Assim, estudos como este com sementes de cactáceas colunares que ocorrem na Caatinga são incentivados para entender o estabelecimento e as chances de sobrevivência dessas espécies no seu ambiente natural em cenários climáticos futuros.

4. CONCLUSÃO

A redução dos potenciais hídricos pela adição do PEG 6000 no meio germinativo provocou decréscimos na viabilidade e no vigor das sementes de *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* e *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis*.

A temperatura de 30 °C reduziu a tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* e *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis*.

As sementes de *C. jamacaru* subsp. *jamacaru* e de *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* são capazes de germinar em solos com baixa disponibilidade hídrica, característica observada em áreas áridas e semiáridas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. REFLORA - Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira [Internet]. [Rio de Janeiro]: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Flora do Brasil 2020 em construção: Cactaceae; 2020 [Acesso em 01 Jun 2020]. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB70>
2. Gomes GR. Família Cactaceae: breve revisão sobre sua descrição e importância. Rev Téc Cient. 2014 Set;1(2):1-10.
3. Fernandes MF, Queiroz LP. Vegetação e flora da Caatinga. Ciên Cultura. 2018 Out/Dez;70(4):51-56, doi: 10.21800/2317-66602018000400014
4. Batista FRC, Almeida EM, Alves LIS, et al. Cactário Guimarães Duque: espécies da coleção botânica do INSA. Campina Grande(PB): INSA; 2018. 227 p.
5. Santana Neto JA, Castro Filho ES, Araújo HR. Potencial das cactáceas como alternativa alimentar para ruminantes no semiárido. Nutritime Rev Eletr. 2015 Nov/Dez;12(6):4426-4434.
6. Souza DD, Santos JIG. O mandacaru como fonte alimentar para caprinos no período de seca no semiárido. Meio Ambiente e Sustentabilidade. 2016;9(5):5-14.
7. Lopes NF, Lima MGS. Fisiologia da produção. Viçosa(MG): Editora UFV; 2015. 492 p.
8. Ortiz TA, Gomes GR, Takahashi LA, Urbano MR, Strapasson E. Water and salt stress in germinating seeds of pitaya genotypes (*Hylocereus* spp.). African J Agr Res. 2014 Dez;9(50):3610-3619, doi: 10.5897/AJAR2014.9114
9. Costa PMA, Souza VCS, Costa VS, Barros ES, Oliveira ISS. Fenofases reprodutivas em uma população de mandacaru (*Cereus jamacaru*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucoensis*) (Cactaceae). Braz J Develop. 2020 Mai;6(5):30536-30545. doi: 10.34117/bjdv6n5-493
10. Fabricante JR, Bezerra FT.; Souza VC, Feitosa SS, Andrade LA, Alves EU. Influência de temperatura e substrato na germinação e desenvolvimento inicial de mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.). Agropec Técnica, 2010;31(2):96-101. doi: 10.25066/agrotec.v31i2.4371
11. Meiado MV. Germinação de sementes de cactos do Brasil: fotoblastismo e temperaturas cardeais. Informativo Abrates, 2012 Jan;22(5):20-23.
12. Carvalho NM, Nakagawa J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP; 2012. 590 p.

13. Santos ARF, Silva-Mann R, Ferreira RA. Restrição hídrica em sementes de jenipapo (*Genipa americana* L.). Rev Árvore. 2011;35(2):213-220.
14. Meiado MV, Albuquerque LSC, Rocha EA, Rojas-Aréchiga M, Leal IR. Seed germination responses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. Plant Species Biol. 2010;25(2):120-128, doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1442-1984.2010.00274.x>
15. Ortiz TA, Urbano MR, Takahashi LSA. Effects of water deficit and pH on seed germination and seedling development in *Cereus jamacaru*. Semina: Ciên Agr. 2019 Jul/Ago;40(4):1379-1392, doi: 10.5433/1679-0359.2019v40n4p1379
16. Simão E, Takaki M, Cardoso VJM. Germination response of *Hylocereus setaceus* (Salm-Dyck ex DC.) Ralf Bauer (Cactaceae) seeds to temperature and reduced water potentials. Braz J Biol. 2010 Feb;70(1):135-144.
17. Zerpa-Catanho D, Hernández-Pridybaile A, Madrigal-Ortiz V, Zúñiga-Centeno A, Porras-Martínez C, Jiménez VM, Barboza-Barquero L. Seed germination of pitaya (*Hylocereus* spp.) as affected by seed extraction method, storage, germination conditions, germination assessment approach and water potential. J Crop Improvem. 2019;33(3):372-394, doi: 10.1080/15427528.2019.1604457
18. Oliveira DM, Lima ATL, Rocha EA, Meiado MV. O aumento da temperatura reduz a tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de *Pereskia grandifolia* Haw. subsp. *grandifolia* (Cactaceae)? Gaia Sci. 2017 Dez;11(4):26-36, doi: 10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n4.35466
19. Lima AT, Meiado MV. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. Seed Sci Res. 2017 Set;27(4):292-302, doi: 10.1017/S0960258517000241
20. Silva JHCS, Medeiros VSS, Oliveira RL, Azeredo GA. Efeito do estresse hídrico sobre a germinação e o vigor de sementes de facheiro [Internet]. In: Anais do II Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER) – PDVAgro; 4-8 Dez 2017; Natal (RN). [place unknown]: Programa Internacional Despertando Vocações para Ciências Agrárias (PDVAgro); 2017 [Acesso em 01 Jun 2020]. [10 p.]. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2018/07/EFEITO-DO-ESTRESSEH%C3%84DDRICO-SOBRE-A-GERMINA%C3%87%C3%83O-E-O-VIGOR-DE-SEMENTES-DEFACHEIRO-.pdf>
21. Nascimento JPB, Meiado MV, Siqueira-Filho JA. Seed germination of three endangered subspecies of *Discocactus* Pfeiff. (Cactaceae) in response to environmental factors. J Seed Sci. 2018;40(3):253-262, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n3183036>
22. Francisco PRM, Medeiros RM, Santos D. Balanço Hídrico Climatológico para a Capacidade de Campo de 100 mm – Estado da Paraíba. Campina Grande: EDUFPG; 2018. 257 p.
23. REFLORA - Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira [Internet]. [Rio de Janeiro]: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Flora do Brasil 2020 - Algas, Fungos e Plantas; 2020 [Acesso em 01 Jun 2020]. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP>
24. Jardim Botânico de Missouri. Tropicos® - connecting the world to botanical data since 1982 [Internet]. Saint Louis, Missouri: Jardim Botânico de Missouri; 2020 [Acesso em: 01 Jun 2020]. Disponível em: <https://www.tropicos.org/home>
25. Villela FM, Doni Filho L, Sequeira EL. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. Pesq Agrop Bra. 1991 Nov/Dez;26(11/12):1957-1968.
26. Maguire JO. Speed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 1962 Mar;2(2):176-177, doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
27. Labouriau LG. A germinação das sementes. Washington: Secretaria da OEA; 1983. 173 p.
28. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília (DF): Mapa/ACS; 2009. 395 p.
29. ESTAT – Sistema de Análises Estatísticas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Versão 2.0. Jaboaticabal: FCAV/UNESP; 1994.
30. Microcal Origin® [Internet]. Versão 6.0. Northampton: OriginLab; 2020 [Acesso em 01 Jun 2020]. Disponível em: <https://www.originlab.com/>
31. Pôrto DRQ, Cecílio Filho AB, May A, Barbosa JC. Acúmulo de macronutrientes pela cebola “Optima” estabelecida por sementeira direta. Hort Bras. 2006 Out/Dez;24(4):470-475, doi: 10.1590/S0102-05362006000400015
32. Abud HF, Pereira DS, Gonçalves NR, Pereira MS, Bezerra AME. Armazenamento de sementes de xique-xique. Rev Bras Sementes. 2012;34(3):473-479, doi: 10.1590/s0101-31222012000300015
33. Braccini AL, Reis MS, Sedyama CS, Sedyama T, Rocha VS. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. Pesq Agrop Bras. 1998 Set;33(9):1451-1459.

34. Brancalion PHS, Novembre ADLC, Rodrigues RR. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. Rev Bras Sementes. 2010 Set;32(4):15-21.
35. Gurvich DE, Pérez-Sánchez R, Bauk K, Jurado E, Ferrero MC, Funes G, Flores J. Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem. Flora. 2017 Fev;227:18-24. doi: 10.1016/j.flora.2016.12.003
36. Flores J, Pérez-Sánchez RM, Jurado E. The combined effect of water stress and temperature on seed germination of Chihuahuan Desert species. J Arid Environm. 2017. Nov;146:95-98. doi: 10.1016/j.jaridenv.2017.07.009
37. Bauk K, Flores J, Ferrero C, Pérez-Sánchez R, Las Peñas ML, Gurvich DE. Germination characteristics of *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae) along its entire altitudinal range. Botany, 2017 Abr;95(4):419-428. doi: 10.1139/cjb-2016-0154
38. Barrios D, Sánchez JA, Flores J, Jurado E. Seed traits and germination in the Cactaceae family: A review across Americas. Bot Sci. 2020 Jul;98(3):417-440. doi: 10.17129/botsci.2501
39. Farias SGG, Freire ALO, Santos DR, Bakke IA, Silva RBE. Efeitos dos estresses hídrico e salino na germinação de sementes de gliricídia [*Gliricidia sepium* (JACQ.) STEUD.]. Rev Caatinga. 2009 Out/Dez;22(4):152-157.
40. Sun WQ, Leopold AC. Cytoplasmic vitrification and survival of anhydrobiotic organisms. Comparative Biochem Physiol. 1997 Jul;117(3):327-33. doi: 10.1016/S0300-9629(96)00271-X
41. Braga LF, Sousa MP, Cesaro AS, Lima GPP, Gonçalves AN. Germinação de sementes de pinho-cuiabano sob deficiência hídrica com diferentes agentes hídricos. Sci Forestais. 2008 Jun;36(8):157-163.
42. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed; 2017. 858 p.
43. Bradford KJ. A water relation analysis of seed germination rates. Plant Physiology. 1990 Jun;94:840-849.
44. Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. Seeds - physiology of development, germination and dormancy. 3. ed. New York: Springer; 2013. 392 p.
45. Dantas BF., Moura MSB, Pelacani CR, et al. Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of dry forest species with climate change. Oecologia. 2020;192:529-541. doi: 10.1007/s00442-019-04575-x