

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa
Brasília, DF
2022

Embrapa Semiárido
Rodovia BR-428, Km 152, Zona Rural
CEP: 56302-970 Petrolina, PE
Fone: +55 (87) 3866-3600
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo
Embrapa Semiárido

Comitê Local de Publicações

Presidente

Nataniel Franklin de Melo

Secretária-executiva

Juliana Martins Ribeiro

Membros

Alineaurea Florentino Silva

Clarice Monteiro Rocha

Daniel Nogueira Maia

Geraldo Milanez de Resende

Gislene Feitosa Brito Gama

José Maria Pinto

Magnus Dall'igna Deon

Paula Tereza de Souza e Silva

Pedro Martins Ribeiro Júnior

Rafaela Priscila Antônio

Sidinei Anuniação Silva

Responsável pela edição

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Coordenação editorial

Carla Alessandra Timm

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto

Francisca Elijani do Nascimento

Normalização bibliográfica

Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico, diagramação e capa

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Fotos da capa

Magna Soelma Beserra de Moura

1ª edição

Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei n° 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas : experiência brasileira / Vanderlise Giongo, Francislene Angelotti, editoras técnicas. – Brasília, DF : Embrapa, 2022.

PDF (256 p.). : il. color.

ISBN 978-65-89957-12-6

1. Recursos naturais. 2. Agricultura sustentável. 3. Efeito estufa. 4. Políticas públicas. I. Giongo, Vanderlise. II. Angelotti, Francislene. III. Embrapa Semiárido.

CDD 551.68

Márcia Maria Pereira de Souza (CRB-1/1441)

© Embrapa, 2022

Sementes nativas da Caatinga e clima futuro

Bárbara França Dantas
Francislene Angelotti

Introdução

O clima é uma das características mais importantes do Semiárido brasileiro, principalmente devido a ocorrências de secas estacionais e periódicas, coincidindo com temperaturas altas. Quando comparada a outras formações brasileiras, a Caatinga tem muitas características climáticas extremas, como maior radiação solar, maior temperatura média anual (27 °C), baixa nebulosidade e baixa umidade relativa do ar. Além disso, os baixos volumes de precipitação (300 mm a 800 mm anuais), com distribuição irregular, associados à alta evapotranspiração potencial, provocam déficit hídrico durante todo o ano (Teixeira, 2010; Moura et al., 2015).

Para o sucesso da germinação de sementes e estabelecimento de plantas jovens em ecossistemas sazonalmente secos, como a Caatinga, são adotadas estratégias relacionadas à produção de sementes, à dispersão dos frutos e às características morfofisiológicas das sementes, de maneira que haja tolerância fisiológica às condições ambientais extremas (Meiado et al., 2012). Assim, a vulnerabilidade de uma espécie aos estresses abióticos não é apenas dependente da severidade e duração do estresse (Kraner et al., 2010), mas também da adaptação genética e do fenótipo que pode ser expresso sob diferentes condições ambientais (Seal, 2012). A capacidade adaptativa das plantas da Caatinga, inerente à convivência com anos consecutivos de seca, associada às altas temperaturas, demonstra a potencial resiliência desse ecossistema (Angelotti et al., 2011). Entretanto,

com as mudanças climáticas, cada vez mais as plantas estão sendo expostas a estresses abióticos (Seal, 2012), o que vem alterando significativamente a distribuição de espécies em todo o mundo (Thuiller et al., 2005). Dessa maneira, as mudanças climáticas poderão provocar alterações nos ecossistemas terrestres com mudanças nos padrões globais da vegetação (Brown et al., 1997; Buckeridge, 2008). Em uma região semiárida dos Estados Unidos da América,, por exemplo, foi observada a reorganização de um ecossistema semiárido por meio do aumento de arbustos lenhosos em resposta as alterações de temperatura e da precipitação (Brown et al., 1997).

A distribuição, a migração e a extinção de espécies nos diferentes ecossistemas do mundo, provocadas pelas mudanças no clima, será um grande desafio para a pesquisa, pois poucos estudos têm sido realizados para uma compreensão sobre a vulnerabilidade dessas espécies. As variações em uma comunidade vegetal podem ocorrer ou sazonalmente – em função de fatores abióticos –, ou ao longo de vários anos. Assim, entender como as diferentes espécies responderão às mudanças climáticas, desde a germinação das sementes até o estabelecimento da planta e produção de uma nova geração de sementes, contribuirá para a manutenção dos ecossistemas terrestres.

Dentre as 4.933 (Flora..., 2020) espécies de angiospermas da Caatinga, apenas 353 foram investigadas, em pouco mais de 200 estudos relacionados a sementes (artigos científicos e técnicos, capítulos de livros, monografias, dissertações e teses), desde a década de 1960 (Meiado

et al., 2012; Passos; Cruz, 2015). Nesses trabalhos, as respostas germinativas aos fatores abióticos (água, luz, temperatura, salinidade e tipo de substrato) foram estudadas apenas em 108 espécies, e poucos trabalhos investigaram a influência do clima na produção de sementes. Entre os estudos realizados, as temáticas apontam para as condições ambientais às quais a planta-mãe foi exposta durante a produção das sementes e sua influência nas características morfológicas e fisiológicas. Os trabalhos também relacionam os efeitos da disponibilidade de água, temperatura e oxigênio como elementos essenciais para a germinação (Marcos Filho, 2015).

Este capítulo tem por objetivo relatar a relação entre as respostas fisiológicas de sementes nativas da Caatinga e os estresses ambientais potencializados pelas mudanças do clima, além de apresentar estimativas de respostas de algumas dessas espécies frente aos cenários climáticos futuros.

Estresses abióticos e as sementes nativas da Caatinga

Baixa disponibilidade hídrica

Entre os anos de 2010 e 2020, o Semiárido brasileiro apresentou acentuado déficit na precipitação. Durante esse período, o volume de chuvas da região semiárida foi acima da média apenas em 2011 (Marengo et al., 2016). Na região de Petrolina, PE/Juazeiro, BA, por outro lado, durante todo esse período, as chuvas ocorreram abaixo da média regional, com precipitação de pouco mais 100 mm durante os anos de 2012 e 2017. Além da redução na precipitação, as temperaturas elevadas também foram observadas nesse período (Agrometeorologia, 2020).

Os anos de seca e altas temperaturas no Semiárido influenciaram a produção e qualidade de sementes florestais da Caatinga. Populações de angico-de-carço (*Anadenanthera colubrina*)

produziram, durante esse período, sementes com variação de tamanho e densidade, o que influenciou na sua qualidade fisiológica (germinação e vigor) e tolerância a estresses (Bispo et al., 2017; Gomes et al., 2017, 2019). As sementes de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva*), produzidas de 2011 a 2017, apresentaram menor germinação quando comparadas com as produzidas em anos anteriores e mais chuvosos (Oliveira et al., 2019).

Na Tabela 1 são apresentadas informações sobre os limites de tolerância de diversas espécies arbóreas nativas da Caatinga a condições de reduzida disponibilidade hídrica, salinidade e altas temperaturas durante a germinação de sementes e fases iniciais de desenvolvimento. Essas espécies demonstram grande variação na tolerância, com diferenças nos potenciais osmóticos limites de -0,2 MPa até -1,0 MPa (Tabela 1).

Entre as espécies com sementes mais tolerantes à restrição hídrica, destacamos lírio-da-caatinga (*Zephyranthes sylvatica*), que apresenta comportamento interessante em relação à germinação em elevados potenciais osmóticos. As sementes dessa espécie apresentam vantagens ecológicas em condições de seca, pois a velocidade de germinação das sementes em -0,8 MPa foi maior comparada às sementes germinadas em água destilada (Silva et al., 2014). Em estudos com restrição hídrica, quanto mais negativo o valor do potencial osmótico, maior o déficit hídrico (Marcos Filho, 2015).

As sementes de catingueira-verdadeira (*Cenostigma pyramidale*) não apresentam alteração na porcentagem de germinação em potenciais osmóticos maiores que -0,6 MPa (Antunes et al., 2011), assim como as sementes de angico-de-bezerro (*Piptadenia moniliformis*), que ainda apresentam até 30% de germinação em -1,2 MPa (Azeredo et al., 2016). Por outro lado, sementes de canafístula (*Peltophorum dubium*) (Perez et al., 2001) e *A. colubrina* (Rego et al., 2011; Dantas et al., 2020) apresentam redução linear da germinação com a redução do potencial osmótico. Curiosamente, uma das espécies mais emblemáticas e comuns na paisagem da Caatinga e conhecida por sua tolerância à

Tabela 1. Limites de tolerância de sementes de espécies nativas da Caatinga à restrição hídrica, salinidade e alta temperatura durante o processo germinativo.

Espécie (família)	Nome comum	Potencial osmótico base ⁽¹⁾ (MPa)	Temperatura teto ⁽²⁾ (°C)	Autor
<i>Amburana cearensis</i> (Arr. Cam.) A.C. Smith. (Fabaceae)	Umburana-de-cheiro; cerejeira	-1,0 ^H	35*	Almeida et al. (2014) Lúcio et al. (2006)
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan (Fabaceae)	Angico-de-carçoço	-0,73 ^H -1,09 ^S	48	Dantas et al. (2020)
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. (Apocynaceae)	Peroba-rosa; pereiro	-0,4 ^H -0,65 ^S	35*	Dantas et al. (2014) Santos et al. (2014) Affonso et al. (2015)
<i>Erythrina velutina</i> Willd. (Fabaceae)	Mulungu	-0,6 ^{H*} -0,65 ^S	40*	Ribeiro et al. (2019)
<i>Guibourtia hymenaefolia</i> (Moric.) J. Léonard (Fabaceae)	Copaíba		35*	Oliveira et al. (2014a)
<i>Handroanthus spongiosus</i> (Rizzini) S. Grose (Bignoniaceae)	Ipê-cascudo	-0,8 ^H -0,6 ^S	45*	Ferreira et al. (2017)
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth. (Fabaceae)	Sabiá; sansão-do-campo; unha-de-gato	-0,8 ^H -1,1 ^{S*}	35*	Sousa et al. (2018) Nogueira et al. (2013)
<i>Mimosa verrucosa</i> Benth. (Fabaceae)	Jurema-rosa	-0,8 ^H	40*	Silva et al. (2010) Silva et al. (2011) Silva (2011)
<i>Myracrodruon urundeuva</i> All. (Anacardiaceae)	Aroeira; aroeira-do-sertão	-0,72 ^H ; -0,28 ^S	41*	Oliveira et al. (2019) Dantas et al. (2020)
<i>Neoglaziovia variegata</i> Arruda Mez (Bromeliaceae)	Caroá	-0,8 ^H	37*	Silveira et al. (2011)
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. (Fabaceae)	Canafistula	-1,4 ^H	35*	Pereira et al. (2013) Botelho e Perez (2001)
<i>Piptadenia moniliformis</i> Benth (Fabaceae)	Angico-de-bezerra	-1,2 ^H -1,0 ^{S*}	35*	Azeredo et al. (2016) Pereira et al. (2016)
<i>Cenostigma pyramidale</i> Tul. (Fabaceae)	Catingueira-verdadeira	-0,8 ^H -1,06 ^S	45	Dantas et al. (2020)
<i>Cenostigma microphyllum</i> Tul. (Fabaceae)	Catingueira-rasteira	-1,8 ^S	55,4	Gomes et al. (2019)
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae)	Canafistula; cássia-do-nordeste	-0,74 ^H		Lima et al. (2018)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Espécie (família)	Nome comum	Potencial osmótico base ⁽¹⁾ (MPa)	Temperatura teto ⁽²⁾ (°C)	Autor
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong Stend.) (Fabaceae)	Mororó; pata-de-vaca	-0,5 ^H	35*	Sanine (2006) Oliveira et al. (2014b)
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem & Schult.) (Sapotaceae)	Quixabeira; quixaba		35*	Silva et al. (2014)
<i>Zephyranthes sylvatica</i> (Mart.) Baker (Amarilidaceae)	Lírio-da-caatinga	-0,8 ^{*H} -0,3 ^{*S}	35*	Silva et al. (2014)
<i>Zizyphus joazeiro</i> Mart. (Rhamnaceae)	Juazeiro	-0,6 ^{*H} -0,6 ^{*S}		Lima e Torres (2009)
<i>Schinopsis brasiliensis</i> (Engel.) (Fabaceae)	Braúna; baraúna	-0,4 ^H	35*	Oliveira et al. (2014c) Silva et al. (2009)

⁽¹⁾Potencial osmótico base é aquele abaixo do qual as sementes não conseguem germinar. H: restrição hídrica devido à utilização de soluções osmóticas de polietilenoglicol 6000; S: restrição hídrica devido à utilização de soluções salinas de cloreto de sódio (NaCl). Obs.: o polietilenoglicol 6000 é um composto quimicamente inerte e não tóxico, que reduz o potencial osmótico da solução e é utilizado para simular condições de déficit hídrico. *: máximo valor avaliado com germinação de sementes, sendo necessários estudos com valores mais restritivos para verificar o limite da tolerância. ⁽²⁾Temperatura teto é aquela acima da qual as sementes não germinam.

seca, juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.), produz sementes sensíveis à restrição hídrica, apresentando baixa porcentagem de germinação (20%) em -0,3 MPa e limite osmótico em -6 MPa (Lima; Torres, 2009).

Entre vários trabalhos que descrevem a resposta de sementes da Caatinga existentes na literatura (Tabela 1), o potencial osmótico -0,8 MPa parece ser um limite entre as sementes mais tolerantes (que germinam bem nessa condição) e moderadamente tolerantes e sensíveis (que germinam pouco ou não germinam nessa condição). Ainda neste capítulo relacionaremos como essa informação, obtida em laboratório com utilização de uma solução osmótica, pode ser usada para estimar as respostas em condições de campo.

Altas temperaturas

Assim como a água, a temperatura é um fator ambiental determinante para o desenvolvimen-

to e germinação das sementes. A temperatura influencia tanto a velocidade da germinação como o percentual final de sementes germinadas (Bewley et al., 2013). Além disso, esse elemento climático pode interferir no metabolismo das sementes, alterando os processos bioquímicos ou fisiológicos com respostas espécie-específicas. Por exemplo, as altas temperaturas durante a maturação podem reduzir o nível de dormência de algumas espécies (Baskin; Baskin, 2014), induzir termotolerância em outras (Sung et al., 1998) e reduzir peso e qualidade de sementes (Pádua et al., 2009).

Essa variação também pode ser observada em sementes de plantas nativas da Caatinga, entretanto as espécies desse ecossistema são naturalmente tolerantes às altas temperaturas, com a germinação ocorrendo sob amplo limite térmico (Dantas et al., 2020). Diferentes espécies da Caatinga, como *A. colubrina* (Dantas et al., 2020); *M. urundeuva* (Oliveira et al., 2019);

Schinopsis brasiliensis (Oliveira et al., 2014c); *C. pyramidale* (Dantas et al., 2020); *Bauhinia cheilantha* e *Amburana cearensis* (Silva et al., 2009); *P. dubium* (Pereira et al., 2013) e *Guibourtia hymenaeifolia* (Oliveira et al., 2014a), possuem temperatura ótima de germinação entre 30 °C e 35 °C, indicando que essas espécies germinam em temperaturas pouco toleradas por aquelas que ocorrem em outros ambientes, como florestas úmidas (Meiado et al., 2012).

A temperatura ideal para a germinação de sementes de espécies tropicais gira em torno de 30 °C (Piña-Rodrigues et al., 2015). Estudos recentes afirmam que a temperatura ótima de germinação de algumas espécies da Caatinga variam entre aproximadamente 35 °C e 38 °C (Araujo, 2017; Gomes et al., 2019; Oliveira et al., 2019; Dantas et al., 2020). Mesmo em temperaturas consideradas extremas (>35 °C) para algumas espécies de regiões temperadas, a germinação das sementes da Caatinga é eficiente nesta temperatura. Como exemplo, podemos citar a espécie *C. pyramidale*, cujas sementes apresentam germinação próxima a 100% em até 35 °C (Matias, 2019) e *A. colubrina*, que apresenta 40% de germinação em 45 °C (Bispo, 2016). Sementes de *M. urundeuva* e *A. cearensis* produzem mais de 60% de plântulas normais a 35 °C. Essa mesma temperatura, no entanto, reduz a germinação de baráúna (*S. brasiliensis*), que produz menos de 20% de plântulas normais nessas condições, e é limitante para germinação de sementes de quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*) (Oliveira et al., 2014b).

Embora as condições edafoclimáticas da região em que as sementes se desenvolvem seja um fator essencial para a aquisição de termotolerância (Sung et al., 1998), essa condição não garante que todas as espécies daquele meio apresentem alta germinação em temperaturas extremas (Oliveira et al., 2014b). Assim, a resposta germinativa à temperatura em sementes de diversas espécies (*P. dubium*, *M. urundeuva*, *A. colubrina*, *C. pyramidale*) pode variar entre diferentes lotes, safras, populações e procedências (Oliveira et al., 2008; Matias, 2019; Oliveira et al., 2019; Gomes, 2019).

Além das condições naturalmente presentes na Caatinga, às quais as espécies já estão adaptadas, o aquecimento da região em média 3,5 °C, chegando a 4,8 °C (Base..., 2013), cria uma nova condição para o crescimento e desenvolvimento dessas espécies, bem como a produção e a qualidade de sementes.

Salinidade

A escassez de chuvas, as elevadas taxas de evaporação e o consequente déficit hídrico têm como resultado o aumento do conteúdo de sais solúveis no solo, que, em alguns casos, é potencializado pelas características hidrogeológicas (rochas do embasamento cristalino) que compõem a região semiárida do Nordeste brasileiro (Moro et al., 2016). Como comparação, cenários climáticos que preveem 30% de redução de precipitação e 10% de aumento na evapotranspiração poderão duplicar a salinidade do solo em uma região semiárida da Espanha (Aragüés et al., 2015). Além disso, a água utilizada na irrigação e/ou fertirrigação de cultivos locais pode desencadear um processo de salinização do solo e da água subterrânea, caso o manejo e drenagem sejam inadequados (Lima et al., 2008).

O excesso de sais solúveis provoca uma redução do potencial hídrico do solo, reduzindo a capacidade de absorção de água pelas sementes durante o processo de embebição (Nasr et al., 2012; Dantas et al., 2014). Além disso, o incremento na concentração salina produz um aumento na porcentagem de plântulas anormais, em virtude da ação tóxica dos sais sobre as sementes (Harter et al., 2014).

A resistência à salinidade é descrita como a habilidade das plantas de evitar, por meio de uma regulação salina, que excessivas quantidades de sal provenientes do substrato alcancem o protoplasma; e também de ter maior tolerância aos efeitos tóxicos e osmóticos associados ao aumento da concentração de sais (Passioura, 1986; Seal; Dantas, 2020). Essa adaptação das plantas ao estresse vem sendo avaliada pela

capacidade germinativa das sementes e pela análise de crescimento de plântulas (Conus et al., 2009).

A salinidade de águas e solos tem sido frequentemente relacionada com a condutividade elétrica, por ser um método de determinação prático e rápido, porém a apresentação e a interpretação de respostas da planta à salinidade, em termos de potencial osmótico, é mais adequada haja vista que possibilita diferenciar entre os efeitos tóxicos e osmóticos da salinidade (Coelho et al., 2014). Além disso, o potencial osmótico das plantas se deve ao fato de essa variável ser considerada o principal componente do potencial hídrico em ambientes salinos (Ben-Gal et al., 2009). A relação entre essas duas variáveis é linear e negativa sendo calculada por: potencial osmótico (MPa) = $-0,036 \times$ condutividade elétrica (dS m^{-1}) (Rowell, 1994). Embora a Tabela 1 apresente apenas o potencial osmótico para comparação entre os estresses hídrico e salino, neste texto utilizaremos as duas variáveis (potencial osmótico e condutividade elétrica) para descrever os limites de tolerância das espécies mencionadas.

As sementes da Caatinga em geral têm alta tolerância à salinidade (Tabela 1). Isso significa que as sementes das plantas desse bioma são capazes de germinar e produzir plantas jovens mesmo em solo salinizado ou sendo irrigadas com água salobra (Souza et al., 2010; Ribeiro et al., 2014; Dantas et al., 2019). As leguminosas *A. colubrina*, *C. pyramidale* e catingueira-rasteira (*Cenostigma microphyllum*) germinam em potenciais osmóticos mais baixos em soluções salinas (maior restrição hídrica) que em soluções de polietileno glicol (Tabela 1). A germinação dessas espécies ocorre em condutividades elétricas maiores que 30 dS m^{-1} ($\approx -1 \text{ MPa}$) (Gomes et al., 2019; Dantas et al., 2020), enquanto outras espécies florestais da Caatinga, como *M. urundeuva* e *B. cheilantha*, não germinam em 14 dS m^{-1} ($\approx -0,5 \text{ MPa}$) (Oliveira et al., 2014b).

Em estudo recente, foi observado que sementes de *M. urundeuva* têm limite de tolerância à salinidade de $-0,28 \text{ MPa}$ ($\approx 7,8 \text{ dSm}^{-1}$), um dos mais baixos entre aqueles verificados para as

espécies florestais da Caatinga. Ainda assim, as plântulas dessa espécie se desenvolvem em água salobra com até $6,8 \text{ dS m}^{-1}$ (Dantas et al., 2014). Essa informação levou a estudos recentes que indicaram a possibilidade de produção de mudas com reúso de água salobra (Ribeiro et al., 2014; Dantas et al., 2019), para assim subsidiar programas de restauração ecológica na Caatinga.

Germinação de espécies florestais da Caatinga em cenários climáticos futuros

Embora as sementes das espécies da Caatinga tenham demonstrado alta tolerância aos estresses abióticos, ainda se conhece pouco os limites a partir dos quais as sementes param de germinar. Também é desconhecida, para muitas espécies, a diferença existente entre diferentes progênies e/ou procedências dentro e fora do bioma Caatinga em relação a esses limites de tolerância. Além disso, são escassas as informações sobre como essas sementes responderão aos cenários climáticos previstos em relatórios recentes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (em inglês Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) ou do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) para a região.

Assim, com o intuito de se prever a germinação em clima futuro, foram obtidos os limites térmicos, hídrico e salino de quatro espécies arbóreo-arbustivas da Caatinga (*M. urundeuva*, *C. pyramidale*, *C. microphyllum* e *A. colubrina*). Verificou-se que os limites térmicos para germinação de sementes dessas espécies, coletadas em região de Caatinga, foram semelhantes entre si. A temperatura base (T_b), abaixo da qual as sementes não germinam, foi sempre menor do que $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Historicamente, esta é a temperatura mais baixa já registrada no sertão pernambucano, onde as sementes foram coletadas. A temperatura teto (T_c), acima da qual as sementes não germinam, foi sempre maior do que $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

A temperatura ótima (T_o), em que as sementes apresentam maior velocidade e porcentagem de germinação, variou em torno da faixa de 30 °C a 35 °C. Verificou-se, portanto, que o aumento da temperatura média da Caatinga em 2100 em até 4,8 °C, de acordo com o quinto relatório do IPCC – AR5/IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013), não prejudicaria o processo germinativo das espécies estudadas (Figura 1) (Gomes et al., 2019; Oliveira et al., 2019; Dantas et al., 2020). Por outro lado, em experimentos para avaliação de bancos de sementes, o aumento da temperatura do ambiente em aproximadamente 4,5 °C reduziu a densidade (quantidade) de sementes de espécies herbáceas germinadas, sem alterar a riqueza de espécies (quantidade de espécies diferentes) de plântulas (Figura 2) (Alencar et al., 2018; Araujo et al., 2018).

Embora as estimativas dos cenários climáticos sejam baseadas em mudanças na temperatu-

ra do ar, a temperatura do solo também afeta a germinação e persistência das sementes no banco de sementes do solo (Ooi et al., 2009). Esses efeitos dependem das características físicas do solo, cobertura vegetal e composição de espécies (Harte et al., 1995). Ooi et al. (2009) sugerem que a temperatura na superfície, nos primeiros centímetros de profundidade do solo, em regiões áridas da Austrália, pode ser em 50% mais alta que a temperatura do ar. Por outro lado, os solos mais calcários da Espanha e Eslováquia mantêm, a 5 cm, temperaturas mais amenas que as temperaturas do ar tanto no verão quanto no inverno, aumentando a resiliência de sementes às mudanças climáticas (Fernández-Pascual et al., 2015). Em experimento na Caatinga, a temperatura do solo a 2 cm de profundidade, onde se encontra a maioria dos propágulos do banco de sementes, apresentou aumento de 16% em relação à temperatura do ar (Dantas et al., 2020).

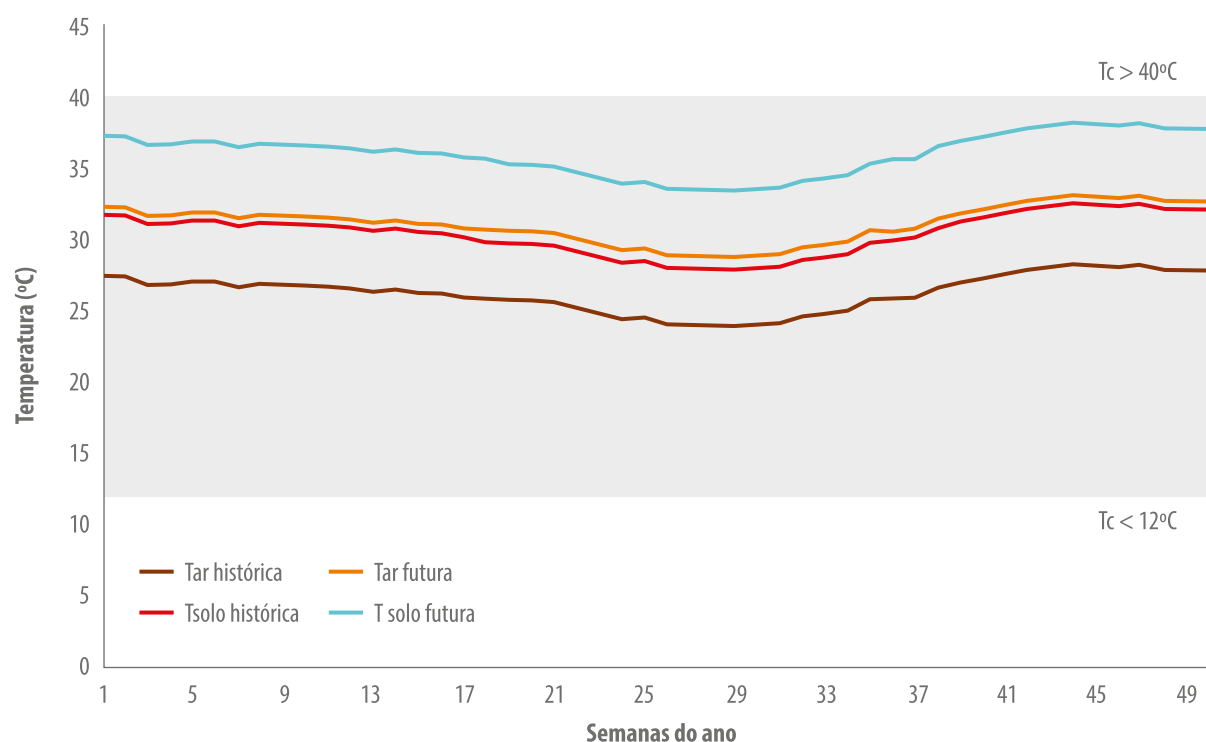


Figura 1. Intervalo térmico para germinação das sementes da Caatinga em clima atual e futuro (área cinza).

Tar histórica: temperatura média do ar de acordo com série histórica de 1970–2014. Tar futura: temperatura média do ar de acordo com estimativa de aumento de 4,8 °C até 2100. Tsolo histórica e Tsolo futura: temperatura do solo a 2 cm de profundidade, estimada em 16% mais alta que a Tar histórica e Tar futura, respectivamente. Tb: temperatura base, abaixo da qual sementes não conseguem germinar. Tc: temperatura teto, acima da qual sementes não conseguem germinar.

Fonte: Adaptado de Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) e Dantas et al. (2020).

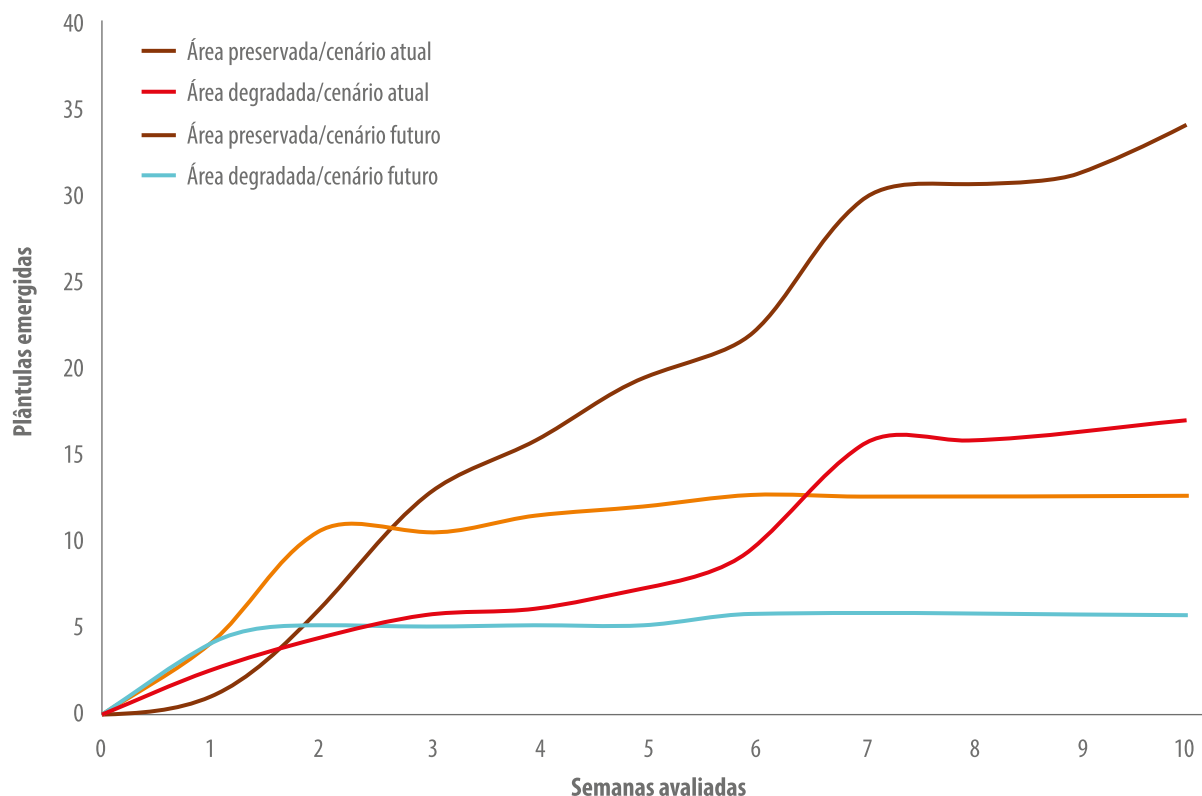


Figura 2. Emergência de plântulas de banco de sementes coletados em área preservada e degradada da Caatinga avaliadas em casas de vegetação de temperatura média do ar de 27 °C e de 32,5 °C, representando temperatura média atual e estimativa de aumento de 4,8 °C até 2100.

Fonte: Adaptado de Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) e Alencar et al. (2018).

Uma das consequências do aumento da temperatura e da evapotranspiração e da redução e má distribuição de chuvas, ocasionados pelas mudanças climáticas, é a salinização dos solos. Em cenários climáticos pessimistas, com 30% de redução do volume de chuvas (como previsto para o Semiárido nordestino) e 10% de aumento na evapotranspiração, estima-se que a salinidade do solo seja duplicada (Base..., 2013; Aragués et al., 2015).

A salinização do solo, por sua vez, é um dos problemas que mais contribui para degradação dos solos das regiões susceptíveis à desertificação (Amezketta, 2006). O potencial efeito das mudanças climáticas sobre a salinidade de reservatórios e açudes pode variar. Em anos secos, a estimativa de aumento da salinidade será na ordem de 2 dS m⁻¹ a 6 dS m⁻¹ entre os anos atuais e o final do século, podendo essa simulação ser mais agravante com períodos de estiagens mais

frequentes que os das séries históricas e atingir de 10 dS m⁻¹ a 16 dS m⁻¹ (Gondim et al., 2010).

A salinidade de solos da região da Caatinga pode variar conforme o uso da terra. A condutividade elétrica de solos de Caatinga preservada é de até 2 dS m⁻¹ (solo sem salinidade), enquanto áreas de agricultura irrigada com águas salobras apresentam até quase 12 dS m⁻¹ (solo altamente salinizado) e áreas degradadas com solos expostos apresentam até aproximadamente 36 dS m⁻¹ (solo extremamente salinizado) (Castro; Santos, 2019).

A tolerância à salinidade foi bastante alta para todas as espécies da Caatinga, se apresentando quase sempre maior que 20 dS m⁻¹ (≈ -0,7 MPa), podendo chegar a mais de 30 dS m⁻¹ (≈ -1 MPa) (Tabela 1). Além das sementes, mudas de espécies da Caatinga apresentam tolerância à salinidade da água de irrigação (Ribeiro et al., 2014;

Dantas et al., 2019), aumentando as chances de estabelecimento da nova planta no solo.

No que se refere à disponibilidade hídrica, o potencial osmótico base (ψ_b), aquele abaixo do qual as sementes não conseguem germinar, variou em torno de -0.8 MPa e foi sempre maior que -1,0 MPa, equivalente a 13,9% de umidade em solos da região onde as sementes foram colhidas (Nascimento et al., 2010). A partir da umidade mínima no solo (13,9%) para germinação das sementes e de trabalhos na literatura (Santos et al., 2011; Moura et al., 2015), foi calculada a precipitação mínima (17,5 mm) necessária em uma semana, para as sementes germinarem na Caatinga (Figura 3).

De acordo com os cenários mais pessimistas de clima futuro, o número de semanas com tempo térmico ($28\text{ }^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ a $45\text{ }^{\circ}\text{C dia}^{-1}$) e precipitação (17,5 mm) necessários para germinação das sementes de algumas espécies da Caatinga

(*M. urundeuva*, *C. pyramidale*, *C. microphyllum* e *A. colubrina*) diminuirá de 14 (dados históricos de 1970–2014) para 4 semanas em 2100 (Figura 3; Gomes et al., 2019; Dantas et al., 2020).

Verificando-se a tolerância das sementes da Caatinga às altas temperaturas e às temperaturas atuais e previstas na região da Caatinga (Tabela 1), estima-se que esta não será restritiva à germinação das sementes nativas. No entanto, não se sabe ainda, para quais espécies, esse período de quatro semanas de precipitações maiores que 17,5 mm (previsto para 2100) será suficiente para que as sementes germinem e se desenvolvam adequadamente em plantas jovens tolerantes à estação seca.

A irrigação com 10 mm semanais permitiu a germinação de sementes e ainda o crescimento adequado de suas mudas de *A. colubrina*, em experimentos de vaso em casa de vegetação durante 14 semanas (Gomes, 2019). Além desse

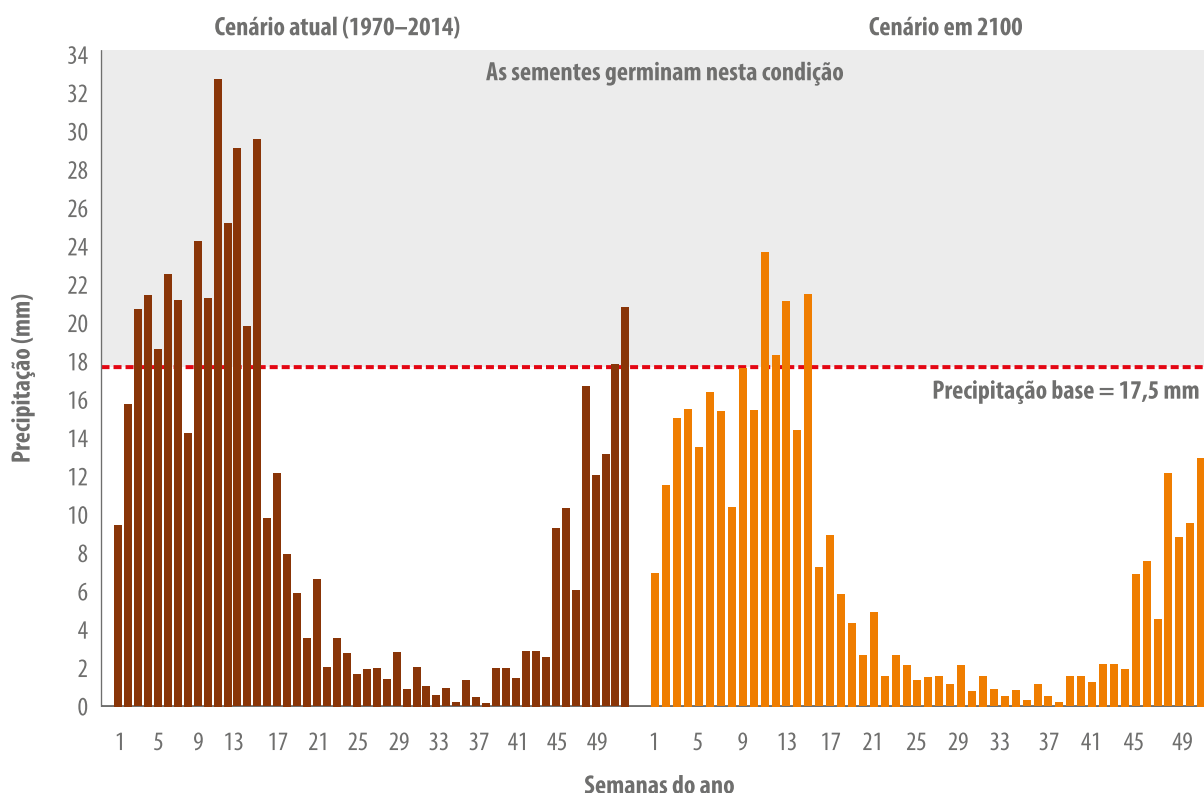


Figura 3. Intervalo hídrico de germinação das sementes da Caatinga (área cinza) em clima atual (série histórica de 1970–2014) e futuro (30% de redução do volume de precipitação até 2100).

Precipitação base: requerimento mínimo de precipitação em uma semana para germinação e estabelecimento de plântula.

Fonte: Adaptado de Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) e Dantas et al. (2020).

resultado, alguns estudos preliminares também têm dado indicativos da resposta das espécies florestais frente a esse cenário de mudanças climáticas. Após a germinação, plântulas de *C. pyramidale* e *A. colubrina*, com radículas de até 5 mm e 10 mm, apresentaram tolerância à dessecação pós-germinativa durante 72 horas, retomando seu crescimento após a reidratação (Figura 4) (Silva et al., 2017b) e, após a emergência, em bancos de sementes, plântulas *C. pyramidale* sobreviveram 40 dias sem chuva ou irrigação (Figura 5) (Silva et al., 2017a).



Figura 4. Plântulas de *Anadenanthera colubrina* (A) e *Poincianella pyramidalis* (B) emitindo raízes secundárias após 24 horas de dessecação pós-germinativa.



Figura 5. Plântulas de *Cenostigma pyramidale* após 40 dias sem chuva, evidenciando a variabilidade na tolerância dessa espécie à deficiência hídrica.

Em razão da precipitação irregular e de temperaturas elevadas, mesmo durante a estação chuvosa, as sementes que são produzidas nos ambientes semiáridos, como a Caatinga, passam por ciclos de hidratação e desidratação no local onde vão germinar, o que influencia diretamente o seu comportamento germinativo (Dubrovsky, 1998). Ao passar pela hidratação descontínua, alguns benefícios são observados durante o processo germinativo de sementes da Caatinga, como aumento da porcentagem e velocidade de germinação, maior tolerância de sementes e plântulas aos estresses ambientais e alterando limites especificados na Tabela 1 (Lima; Meiado, 2018a, 2018b; Lima et al., 2018).

Ao reunir essas informações, verifica-se que eventos de baixa precipitação (< 5 mm) se tornam importantes para o recrutamento e desenvolvimento das plantas adaptadas ao ambiente semiárido (Sala; Lauenroth, 1982), podendo induzir ciclos de hidratação e secagem, e consequentemente maior tolerância das sementes aos estresses ambientais (Lima et al., 2018).

Considerações finais

Com as mudanças climáticas, novas combinações nos padrões de precipitação, temperatura, bem como em suas variações dentro e entre os diferentes ecossistemas poderão ocorrer. Isso afetará o desenvolvimento das plantas, desde a germinação das sementes até o seu crescimento e estabelecimento no ambiente. Além disso, as alterações na temperatura e na precipitação poderão influenciar diretamente a produção de sementes, prejudicando os processos de maturação e desenvolvimento e, consequentemente, diminuindo a qualidade, o tamanho, a quantidade e o vigor. Assim, os estudos sobre as relações do clima com a produção de sementes serão importantes para elucidar as características das sementes que podem permitir sua germinação, como para prever respostas de sementes e plântulas no campo e assim entender o recrutamento e a regeneração de todo o ecossistema.

Os resultados de pesquisa relatados neste capítulo indicam a alta capacidade de tolerância e adaptabilidade das sementes da Caatinga aos estresses abióticos. Contudo, são necessários avanços no mapeamento de populações vulneráveis às mudanças do clima e a promoção de ações para a conservação eficiente das espécies nativas da Caatinga.

Referências

- AFFONSO, I. B.; MATIAS, J. R.; GOMES, S. E. V.; COSTA, D. C. C. da; OLIVEIRA, G. M. de; BISPO, J. de S.; RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de pereiro submetidas à restrição hídrica In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 4., 2015, Petrolina. **Experiências e oportunidades para o desenvolvimento**: anais. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 262).
- AGROMETEOROLOGIA. Embrapa Semiárido, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/semiárido/laboratorios/agrometeorologia>. Acesso em: 3 ago. 2020.
- ALENCAR, S. de S.; FREIRE, J. N. T.; GOMES, R. A.; PORTO, D. D.; DANTAS, B. F. Impacto do aumento da temperatura na germinação do banco de sementes do solo de Caatinga preservada e degradada. **Informativo Abrates**, v. 28, n. 2, p. 232, nov. 2018.
- ALMEIDA, J. P. N.; PINHEIRO, C. L.; LESSA, B. F. T.; GOMES, F. M.; MEDEIROS FILHO, S. Water stress and seed weight at germination and seedling growth in *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 45, n. 4, p. 777-787, 2014. DOI: [10.1590/S1806-66902014000400016](https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400016).
- AMEZKETA, E. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 4, p. 594-606, Dec. 2006. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2006.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.010).
- ANGELOTTI, F.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. B. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1097-1111, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58274/1/Fran-2011.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020
- ANTUNES, C. G. C.; PELACANI, C. R.; RIBEIRO, R. C.; SOUZA, J. V. DE; SOUZA, C. L. M. DE; CASTRO, R. D. DE. Germinação de sementes de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira) submetidas a deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1007-1015, out. 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/488/48819945006.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.
- ARAGÜÉS, R.; MEDINA, E. T.; ZRIBI, W.; CLAVERÍA, I.; ÁLVARO-FUENTES, J.; FACI, J. Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios. **Irrigation Science**, v. 33, p. 67-79, 2015. DOI: [10.1007/s00271-014-0449-x](https://doi.org/10.1007/s00271-014-0449-x).
- ARAUJO, M. N. **Physiological aspects of germination and storage of *Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm (Fabaceae) seeds**. 2017. 78 f. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA.
- ARAUJO, R. G.; ALENCAR, S. de S.; FREIRE, J. N. T.; PEREIRA, M. C. T.; DANTAS, B. F. Efeito da temperatura na germinação do banco de sementes de macrófitas aquáticas do Semiárido. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Petrolina. **Anais [...]** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019. p. 305. (Embrapa Semiárido. Documentos, 287).
- AZERÊDO, G. A. de; PAULA, R. C. de; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. SOB estresse hídrico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 193-202, jan./mar. 2016. DOI: [10.5902/1980509821112](https://doi.org/10.5902/1980509821112).
- BASE científica das mudanças climáticas: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. Rio de Janeiro, 2013. DOI: [10.13140/RG.2.1.1641.6883](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1641.6883).
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. 2nd San Diego: Elsevier, 2014.
- BEN-GAL, A.; H, YERMIYAHU, U.; SHANI, U. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity? **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 2-3, p. 232-237, Mar. 2009. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2008.09.006](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.09.006).
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**. 3rd Edition. New York: Springer, 2013.
- BISPO, J. S. **Biometria, vigor e limites para a germinação de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Irrigada) – Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, BA.
- BISPO, J. S.; COSTA, D. C. C. da; GOMES, S. E. V.; OLIVEIRA, G. M. de; MATIAS, J. R.; RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F. Size and vigor of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan seeds harvested in Caatinga areas. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 4, p. 363-373, Oct./Dec. 2017. DOI: [10.1590/2317-1545v39n4173727](https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n4173727).
- BOTELHO, B.; PEREZ, S. Growth regulators and water stress in canafistula seed germination. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 43-49, Jan./Mar. 2001. DOI: [10.1590/S0103-90162001000100008](https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100008).

- BROWN, J. H.; VALONE, T. J.; CURTIN, C. G. Reorganization of an arid ecosystem in response to recent climate change. **Proceedings of the National Academic Science**, v. 94, n. 18, p. 9729-9733, Sept. 1997. DOI: [10.1073/pnas.94.18.9729](https://doi.org/10.1073/pnas.94.18.9729).
- BUCKERIDGE, M. S.; AIDAR, M. P. M.; MARTINEZ, C. A.; SILVA, E. A. Respostas de plantas às mudanças climáticas globais. In: BUCKERIDGE, M. S. (org.). **Biologia das mudanças climáticas no Brasil**. São Carlos: São Carlos: Rima, 2008. p. 77-92.
- CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator**, v. 19, e19002, Mar. 2019. DOI: [10.4215/rm2020.e19002](https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002).
- COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 708-713, July 2014. DOI: [10.1590/S1415-4366201400070000](https://doi.org/10.1590/S1415-4366201400070000).
- CONUS, L. A.; CARDOSO, P. C.; VENTUROSO, L. DOS R.; SCALON, S. de P. Q. Germinação de sementes e vigor de plântulas de milho submetidas ao estresse salino induzido por diferentes sais. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 4, p. 67-74, 2009. DOI: [10.1590/S0101-31222009000400008](https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000400008).
- DANTAS, B. F.; MOURA, M. S. B. de; PELACANI, C. R.; ANGELOTTI, F.; TAURA, T. A.; OLIVEIRA, G. M.; BISPO, J. S.; MATIAS, J. R.; SILVA, F. F. S.; PRITCHARD, H. W.; SEAL, C. E. Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of dry forest species with climate change. **Oecologia**, v. 192, p. 529-541, 2020. DOI: [10.1007/s00442-019-04575-x](https://doi.org/10.1007/s00442-019-04575-x).
- DANTAS, B. F.; RIBEIRO, R. C.; MATIAS, J. R.; ARAÚJO, G. G. L. Germinative metabolism of Caatinga forest species in biosaline agriculture. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 194-203, Apr./June 2014. DOI: [10.1590/2317-1545v32n2927](https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2927).
- DANTAS, B. F.; RIBEIRO, R. C.; OLIVEIRA, D. M. de; SILVA, F. F. S. da; ARAUJO, G. G. L. de. Biosaline production of seedlings of native species from the Caatinga dry forest. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1551-1567, out./dez. 2019.
- DUBROVSKY, J. G. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactusspecies of the Sonoran Desert. **Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 125, p. 33-39, May 1998. DOI: [10.2307/2997229](https://doi.org/10.2307/2997229).
- FERNÁNDEZ-PASCUAL, E.; JIMÉNEZ-ALFARO, B.; HÁJEK, M.; DÍAZ, T.; PRITCHARD, H. W. Soil thermal bufer and regeneration niche may favour calcareous fen resilience to climate change. **Folia Geobotanica**, v. 50, p. 293-301, 2015. DOI: [10.1007/s12224-015-9223-y](https://doi.org/10.1007/s12224-015-9223-y).
- FERREIRA, J. V. A.; MEIADO, M. V.; SIQUEIRA FILHO, J. A. de. Efeito dos estresses hídrico, salino e térmico na germinação de sementes de *Handroanthus spongiosus* (Rizzini) S. Grose (Bignoniaceae). **Gaia Scientia**, v. 11, n. 4, 2017. DOI: [10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n4.35470](https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n4.35470).
- FLORA do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 29 jul. 2020
- GOMES, S. E. V.; ARAÚJO, M. N.; DANTAS, B. F. Efeito da precipitação e temperatura no tamanho de sementes de *Anadenanthera colubrina*. In: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2., 2017, Petrolina. **Anais [...]** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.
- GOMES, S. E. V. **Clima e tamanho de sementes de angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschu)**: influência na produção de sementes, qualidade fisiológica e tolerância aos estresses abióticos. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Irrigada) – Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, BA.
- GOMES, S. E. V.; OLIVERA, G. M. de; ARAÚJO, M. do N.; SEAL, C. E.; DANTAS, B. F. Influence of current and future climate on the seed germination of *Cenostigma microphyllum* (Mart. ex G. Don) E. Gagnon & G. P. Lewis. **Folia Geobotanica**, v. 54, p. 19-28, Oct. 2019. DOI: [10.1007/s12224-019-09353-4](https://doi.org/10.1007/s12224-019-09353-4).
- GONDIM, T. M. S.; CAVALCANTE, L. F.; BELTRAO, N. E. M. Aquecimento global: salinidade e consequências no comportamento vegetal. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 14, n. 1, p. 37-54, jan./abr. 2010.
- HARTE, J.; TORN, M. S.; CHANG, F. R.; FEIFAREK, B.; KINZIG, A. P.; SHAW, R.; SHEN, K. Global warming and soil microclimate: Results from a meadow-warming experiment. **Ecological Applications**, v. 5, n. 1, p. 132-50 Feb, 1995.
- HARTER, L. S. H.; HARTE, F. S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 80-85, 2014. DOI: [10.1590/S0102-05362014000100013](https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100013).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2013**: The physical science basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report.
- KRANNER, I.; MINIBAYEVA, F. V.; BECKETT, R. P.; SEAL, C. E. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, v. 188, n. 3, p. 655-73, Sept. 2010. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2010.03461.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03461.x).
- LIMA, A. T.; CUNHA, P. H. J. DA; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Does discontinuous hydration of *Senna spectabilis* (DC.) HS Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) (Fabaceae) seeds confer tolerance to water stress during seed germination? **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, 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, n. 1, p. 164-167, May 2018a. Doi: 10.1016/j.sajb.2018.03.017.
- LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Effects of seed hydration memory on initial growth under water deficit of cactus from two populations that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Plant Species Biology**, v. 33, p. 1-10, 2018b. DOI: 10.1111/1442-1984.12219.
- LIMA, B. G.; TORRES, S. B. Estresses hídrico e salino na germinação de sementes de *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae). **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 93-99, out./dez. 2009.
- LIMA, E. A.; NASCIMENTO, D. A.; GUILERA, S. C.; BRANDÃO, L. C. R. Mapa de variação da concentração total de sais das águas subterrâneas da Região Nordeste do Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 22, n. 2, p. 1-13, 20 set. 2008.
- LÚCIO, A. A.; SILVA, F. F. S. da; RIBEIRO, L. S.; DANTAS, B. F.; KILL, L. H. P. Comportamento fisiológico de sementes de umburana-de-cheiro (*Amburana cearensis* All. (Leguminosae)) submetidas a diferentes temperaturas de germinação. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMENTES, 20., 2006, Fortaleza, CE. **Resumos** [...] Brasília, DF: Associação Brasileira de Sementes e Mudanças - ABRASEM, 2006. 1 CD-ROM.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.
- MATIAS, J. R. **Vulnerabilidade de sementes de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) aos estresses abióticos**. 2019. 68 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do SemiÁrido, Mossoró.
- MEIADO, M. V.; SILVA, F. F. S.; BARBOSA, D. C. de A. Diaspores of the Caatinga: A Review. In: SIQUEIRA FILHO, J. A. de (ed.). **Flora of the Caatingas of the São Francisco River: Natural History and Conservation**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, 2012. p. 306-365.
- MORO, M. F.; NIC LUGHADHA, E.; ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. A phytogeographical metaanalysis of the semiarid caatinga domain in Brazil. **Botanical Review**, v. 82, p. 91-148. 2016. DOI: 10.1007/s12222-9-016-9164-z.
- MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B.; RANDOW, C. V.; SILVA, T. G. F. da. Perfil vertical de CO₂ na Caatinga preservada: resultados preliminares. Agrometeorologia no século 21: o desafio sustentável dos biomas brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 2015, Lavras. **Anais** [...] Lavras, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131730/1/artigo-1.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.
- NASCIMENTO, P. S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. da S.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. de M.; MANIERI, J. M. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. **Irriga**, v. 15, n. 2, p. 193-207, 2010. DOI: 10.15809/irriga.2010v15n2p193.
- NASR, S. M. H.; PARSAKHO, A.; NAGHAVI, H.; KOOHI, S. K. S. Effect of salt stress on germination and seedling growth of *Prosopis juliflora* (Sw.). **New Forests**, v. 43, n. 1, p. 45-55, 27 jan. 2012. DOI: 10.1007/s11056-011-9265-9.
- NOGUEIRA, N. W.; RIBEIRO, M. C. C. de; FREITAS, R. M. O.; GURGEL, G. B.; NASCIMENTO, I. L. do. Diferentes temperaturas e substratos para germinação de sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Revista de Ciências Agrárias – Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 2, p. 95-98, 2013.
- OLIVEIRA, A. K. M.; PEREIRA, K. C. L. Efeito de diferentes temperaturas na germinação e crescimento radicular de sementes de jatobá-mirim (*Guibourtia hymenaeifolia* (Moric.) J. Léonard). **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 111-116. 2014a. DOI: 10.5902/1980509813328.
- OLIVEIRA, G. M. de; MATIAS, J. R.; SILVA, P. P. da; RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) e mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong) Stend.) em diferentes condutividades elétricas. **Revista SODEBRAS**, v. 9, n. 104, p. 115-122, ago. 2014b.
- OLIVEIRA, G. M.; RODRIGUES, J. M.; RIBEIRO, R. C.; BARBOSA, L. G.; SILVA, J. E. S. B.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de espécies arbóreas nativas da Caatinga em diferentes temperaturas. **Scientia Plena**, v. 10, n. 4, p. 1-6, 2014c.
- OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAÚJO, M. N.; COSTA, D. C. C.; GOMES, S. E. V.; MATIAS, J. R.; ANGELOTTI, F.; PELACANI, C. R.; SEAL, C. R.; DANTAS, B. F. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 32-43, Já./Mar. 2019. DOI: 10.1590/2317-1545v41n1191945.
- OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. Teste de germinação de sementes de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert – Fabaceae. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 545-551, 2008. DOI: 10.5380/rf.v38i3.12425.
- OOI, M. K. J.; AULD, T. D.; DENHAM, A. J. Climate change and bet-hedging: interactions between increased soil temperatures and seed bank persistence. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2375-2386, Sept. 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01887.
- PÁDUA, G. P.; FRANCA NETO, J. B.; CARVALHO, M. L. M.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; GUIMARÃES, R. M. Incidence of green soybean seeds as a function of environmental stresses during seed maturation. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 150-159, set. 2009. DOI: 10.1590/S0101-31222009000300017.
- PASSIOURA, J. B. Resistance to drought and salinity: avenues for improvement. **Functional Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 191-201. 1986. DOI: 10.1071/PP986019.
- PASSOS, M. A.; CRUZ. Estado da arte da produção e tecnologia de sementes florestais no nordeste. In: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOSA, M. B.; SILVA, A. (ed.).

- Sementes florestais tropicais:** da ecologia à produção. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015. p. 400-420.
- PEREIRA, F. E. C. B.; MEDEIROS FILHO, S.; TORRES, S. B.; MARTINS, C. C.; BRITO, S. F. Saline stress and temperatures on germination and vigor of *Piptadenia moniliformis* Benth. seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 649-653, July 2016. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p649-653](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p649-653).
- PEREIRA, S. R.; KALIFE, C.; RODRIGUES, A. P.; LAURA V. A. Influência da temperatura na germinação de sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. **Informativo Abrates**, v. 23, n. 3, p. 52-5, 2013.
- PEREZ, S. C. J. G. D. A.; FANTI, S. C.; CASALI, C. A. Influência da luz na germinação de sementes de canafístula submetidas ao estresse hídrico. **Bragantia**, v. 60, p. 155-166, 2001.
- PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B.; SILVA, A. **Sementes florestais tropicais:** da ecologia à produção. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015. 477 p.
- REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K. de; BRONDANI, G. E.; SILVA, 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.
- RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; OLIVEIRA, G. M. de; CAROLINA, D.; BISPO, J. D. S. Germinação de sementes e produção de mudas de catingueira-verdadeira em água bioessalina. **Informativo ABRATES**, v. 24, n. 3, p. 51-55, 2014.
- RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F.; PELACANI, C. R. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de sementes de *Erythrina velutina* Willd. na tolerância aos estresses abióticos durante a germinação e crescimento inicial de plântulas. In: SILVA-MANN, R.; RABBANI, A. R. C.; GOMES, L. J. (org.). **Pensado a biodiversidade:** Mulungu (*Erythrina* sp.). Salvador: EDIFBA, 2019. p. 15-47.
- ROWELL, D. L. **Soil science:** methods and applications. Harlow: Longman, 1994. 781p.
- SALA, O. E.; LAUENROTH, W. K. Small rainfall events: An ecological role in semiarid regions. **Oecologia**, v. 53, p. 301-304. 1982. DOI: [10.1007/BF00389004](https://doi.org/10.1007/BF00389004).
- SANINE, M. S. **Estudos de alguns aspectos de germinação e bioquímicos de sementes de *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., sob diferentes condições de armazenamento.** 2006. 59 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas (Botânica) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- SANTOS, R. S.; MATIAS, J. R.; RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F. Influência do estresse térmico no processo germinativo de sementes de pereiro. In: WORKSHOP DE SEMENTES E MUDAS DA CAATINGA, 4., 2012, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semiárido, 2014. p. 105-110. (Embrapa Semiárido. Documentos, 258).
- SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 670-679, July 2011. DOI: [10.1590/S1415-43662011000700004](https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700004).
- SEAL, C. E. Assessing the vulnerability of species to climate change. **Samara**, n. 22, p. 6, 2012.
- SEAL, C. E.; DANTAS, B. F. Seed functional traits of halophytes. In: GRIGORE, M. N. **Handbook of halophytes. from molecules to ecosystems towards biosaline agriculture.** New York: Springer. 2020.
- SILVA, F. F. S.; OLIVEIRA, G. M. de; ARAÚJO, M. N.; PELACANI, C. R.; DANTAS, B. F. Sobrevivência de plântulas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan à dessecação. In: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2., 2017, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017b. p. 15-21. (Embrapa Semiárido. Documento, 280).
- SILVA, F. F. S.; OLIVEIRA, G. M.; ARAÚJO, M. N.; ANGELOTTI, F.; MOURA, M. S. B.; DANTAS, B. F. Rainfall events, high CO₂ concentration, and germination of seeds in Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 256-265, 2017a.
- SILVA, M. B. R. da; VIÉGAS, R. A.; NETO, J. D.; FARIAS, S. A. R. Estresse salino em plantas da espécie florestal sabiá. **Caminhos de Geografia**, v. 10, n. 30, p. 120-127, Jun 2009.
- SILVA, M. W.; BARBOSA, L. G.; SILVA, J. E. S. B. da; GUIRRA, K. S.; GAMA, D. R. da S.; OLIVEIRA, G. M. de; DANTAS, B. F. Characterization of seed germination of *Zephyranthes sylvatica* (Mart.) Baker (Amarilidaceae). **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 178-185, 2014. DOI: [10.1590/2317-1545v32n2923](https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2923).
- SILVA, P. P. da; SOUZA, C. L. M.; SOUZA, M. O.; PELACANI, C. R.; DANTAS, B. F. Efeito de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Mimosa verrucosa* Benth. (Leguminosae - Mimosaceae) nativas do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS; WORKSHOP EM BIOPROSPECÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PLANTAS NATIVAS DO SEMI-ÁRIDO, 3.; WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE BIOENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2010, Salvador. **Bancos de germoplasma:** descobrir a riqueza, garantir o futuro: anais. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. 1 CD-ROM. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 304).
- SILVA, P. P. **Germinação e armazenamento de sementes de *Mimosa verrucosa* Benth. nativa da Caatinga.** 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA.
- SILVA, P. P.; LOPES, A. P.; ARAÚJO, M. N.; LIRA, M. A. P.; OLIVEIRA, D. A. B.; SILVA, F. F. S.; REIS, R. C. R.; SOUZA, Y. A.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de *Schinopsis brasiliensis* submetidas a estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FIOLOGIA VEGETAL, 12.,

- 2009, Fortaleza. **Desafios para produção de alimentos e bioenergia**: anais. Fortaleza: SBFV: UFC: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. 1 CD-ROM.
- SILVA, P. P.; SOUZA, C. L. M.; ANTUNES, C. G. C.; CRUZ, C. R. P.; DANTAS, B. F.; Efeito da restrição hídrica sobre a germinação de *Mimosa verrucosa* Benth. (Leguminosae - Mimosaceae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 13., 2011, Buzios. **Anais [...]** Buzios: Ed. da UENF, 2011.
- SILVEIRA D. G.; PELACANI C. R.; ANTUNES C. G.; ROSA S. S.; SOUZA F. V.; SANTANA J. R. Resposta germinativa de sementes de caroá [*Neoglaziovia variegata* (Arruda) Mez]. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 948-55, out. 2011. DOI: [10.1590/S1413-70542011000500012](https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000500012).
- SOUSA, E. C.; SILVA, D. V.; SOUSA, D. M. M.; TORRES, S. B.; OLIVEIRA, R. R. T. Physiological changes in *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. seeds from different sources and submitted to abiotic stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 383-389, 2018. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p383-389](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p383-389).
- SOUZA, Y. A.; PEREIRA, A. L.; SILVA, F. F. S. da; REIS, R. C. R.; EVANGELISTA, M. R. V.; CASTRO, R. D. de; DANTAS, B. F. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 83-92, June 2010. DOI: [10.1590/S0101-31222010000200010](https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000200010).
- SUNG, Y.; CANTLIFFE, D. J.; NAGATA, R. T. Seed developmental temperature regulation of thermotolerance in lettuce. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 4, p. 700-705, July 1998. DOI: [10.21273/JASHS.123.4.700](https://doi.org/10.21273/JASHS.123.4.700).
- TEIXEIRA, A. H. de C. **Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 21 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 233).
- THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M. B.; SYKES, M. T.; PRENTICE, I. C. Climate change threats to plant diversity in Europe. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 23, p. 8245-50, June 2005. DOI: [10.1073/pnas.0409902102](https://doi.org/10.1073/pnas.0409902102).
- WALCK, J. L.; HIDAYATI, S. N.; DIXON, K. W.; THOMPSON, K.; POSCHLOD, P. Climate change and plant regeneration from seed. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2145-2161. 2011. DOI: [10.1590/2317-1545v32n2923](https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2923).