



**UFRPE**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**JEFERSON MATHEUS GOMES DE MOURA**

**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM PLANTAS EXÓTICAS INVASORAS  
NA CAATINGA**

**SERRA TALHADA - PE**

**2023**

JEFERSON MATHEUS GOMES DE MOURA

EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM PLANTAS EXÓTICAS INVASORAS NA  
CAATINGA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Edgar Alberto do Espírito Santo Silva

SERRA TALHADA - PE

2023

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

---

- M929e Moura, Jeferson Matheus Gomes de  
Efeitos das mudanças climáticas em plantas exóticas invasoras na Caatinga / Jeferson Matheus Gomes de Moura. -  
2023.  
58 f. : il.
- Orientador: Edgar Alberto do Espírito Santo Silva.  
Inclui referências e apêndice(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em  
Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2023.
1. Invasão biológica. 2. Modelos climáticos. 3. Plantas exóticas invasoras. I. Silva, Edgar Alberto do Espírito Santo,  
orient. II. Título

JEFERSON MATHEUS GOMES DE MOURA

EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM PLANTAS EXÓTICAS INVASORAS NA  
CAATINGA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Edgar Alberto do Espírito Santo Silva (Orientador) - UFRPE/UAST

---

Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima (Titular Interno/a) - UFRPE/UAST

---

Profa. Dra. Luciana Sandra Bastos de Souza (Titular Interno/a) - UFRPE/UAST

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) do Governo Lula (2003-2011), pela interiorização das Universidades e Institutos Federais, os quais oportunizaram a mim e a outros(as) como eu ter acesso ao Ensino Superior.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) por ter me possibilitado viver a graduação.

Aos(às) professores(as) pelas bases que forneceram para que eu pudesse construir meus conhecimentos, insumos para a minha formação profissional e pessoal.

Aos(às) profissionais técnicos e terceirizados(às) da Unidade, pelos serviços prestados.

Ao Programa de Educação Tutorial (SESu/MEC) pela concessão da bolsa que me amparou durante grande parte da caminhada. Agradecimento especial ao PET Biologia/UAST, por transformar esse caminho, deixando-o mais prazeroso, cheio de aprendizado e de laços que irei manter.

Ao professor e tutor, André Luiz Alves de Lima, pelas palavras de força e estímulo.

Ao professor e orientador, Edgar Alberto do Espírito Santo Silva, pelos ensinamentos, paciência e parceria durante essa jornada.

Às minhas amigas, Brenda Laryssa do Nascimento Candido, Êmyle Lorrane Gomes Ferraz, Felícia Karoline dos Santos Panta, Luiza Lopes da Silva, Maria Emmanuely Leite Moura, Maria Sâmila Taís Gomes de Moura e Vitória Régia do Amaral Rodrigues pelo apoio e ajuda durante o percurso. Agradecimento especial à Luiza Lopes da Silva, por toda a cumplicidade, companhia e amizade nesses anos de graduação.

Ao meu avô, Francisco Soares da Silva, por ser o meu maior incentivador e bússola.

À Maria Soares de Lima Souza, Clénisse Maria Soares de Souza Agra e Maria Clénilda Soares de Souza Albuquerque, respectivamente minha mãe e irmãs do coração. À essas mulheres fortes e íntegras que reconhecem o poder da educação e que não mediram esforços para que eu pudesse adentrar e me manter na Universidade.

Ao meu tio, Adriano Soares da Silva, por ser uma das minhas inspirações.

À toda minha família pelo encorajamento, carinho e amor incondicionais.

À Beyoncé Giselle Knowles-Carter, sua força e arte me atravessaram e me seguraram em vários momentos de angústia.

À todos(as/es) aqueles(as) que de algum modo me incentivaram durante essa jornada.

À mim, Jeferson Matheus Gomes de Moura, por não ter desistido e persistido mesmo com muitos percalços.

*Of life on fertile ground, my ancestors put me on game.*  
Da vida em terra fértil, meus ancestrais me colocaram no jogo.

BLACK PARADE - Beyoncé

## RESUMO

O processo de invasão biológica é cada vez mais comum ao redor do globo e tem sido facilitado pelas ações antrópicas, representando uma ameaça à biodiversidade nativa. Os riscos associados a este panorama são potencializados em decorrência das mudanças climáticas, especialmente em regiões semiáridas e áridas, onde diminuições no regime de chuvas e aumento na aridez do solo são esperados. O presente estudo objetivou analisar a distribuição atual e futura de plantas exóticas invasoras lenhosas na região de Caatinga, com base em modelo climático e modelagem, frente às mudanças climáticas. Além disso, averiguar as variáveis bioclimáticas de maior influência para a distribuição potencial das espécies de plantas invasoras. Para isso, foram utilizados registros de presença das espécies-alvo: *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton (60), *Cryptostegia madagascariensis* Bojer (19), *Nicotiana glauca* Graham (79), *Parkinsonia aculeata* L. (90), *Prosopis juliflora* (Sw) DC (147) e *Ricinus communis* L. (235), disponibilizados pelas plataformas *speciesLink* e Instituto Hórus, utilizando oito variáveis bioclimáticas e aplicando ao algoritmo MAXENT, o modelo climático utilizado foi o MIROC-ES2L. Ademais, considerou o intervalo de tempo para o modelo atual de 1970-2000, futuro de 2081-2100, este último com dois cenários: futuro otimista (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5), em relação às emissões de CO<sub>2</sub> e dos gases do efeito estufa (GEEs) e políticas ambientais. E os achados deste estudo mostram que as plantas invasoras diminuirão suas áreas de potencial distribuição em tempos futuros quando comparadas ao presente. As principais variáveis climáticas que contribuíram na distribuição das invasoras foram precipitação anual (BIO12); amplitude de temperatura anual (BIO7); precipitação do trimestre mais quente (BIO18); e precipitação do trimestre mais seco (BIO17). Portanto, o presente trabalho traz o alerta de como a vegetação lenhosa da Caatinga, tão importante para a população residente, irá se portar frente às mudanças climáticas.

Palavras-chaves: Invasão biológica; Modelos climáticos; Plantas exóticas invasoras.

## ABSTRACT

The process of biological invasion is increasingly common around the globe and has been facilitated by anthropic actions, representing a threat to native biodiversity. The risks associated with this scenario are heightened as a result of climate change, especially in semi-arid and arid regions, where decreases in rainfall and an increase in soil aridity are expected. The present study aimed to analyze the current and future distribution of exotic woody invasive plants in the Caatinga region, based on a climate model and modeling, in the face of climate change. In addition, to investigate the bioclimatic variables of greatest influence on the potential distribution of invasive plant species. For this study, we used records of the presence of the target species: *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton (60), *Cryptostegia madagascariensis* Bojer (19), *Nicotiana glauca* Graham (79), *Parkinsonia aculeata* L. (90), *Prosopis juliflora* (Sw ) DC (147) and *Ricinus communis* L. (235), made available by the platforms speciesLink and Instituto Hórus, using eight bioclimatic variables and applying the MAXENT algorithm, the climate model used was the MIROC-ES2L. Furthermore, it considered the time interval for the current model from 1970-2000, future from 2081-2100, the latter with two scenarios: optimistic future (SSP2-4.5) and pessimistic (SSP5-8.5), in relation to CO<sub>2</sub> emissions and of greenhouse gases (GHGs) and environmental policies. And the findings of this study show that invasive plants will decrease their areas of potential distribution in future times when compared to the present. The main climatic variables that contributed to the distribution of weeds were annual precipitation (BIO12); annual temperature range (BIO7); warmest quarter precipitation (BIO18); and precipitation of the driest quarter (BIO17). Therefore, the present work brings a warning about how the woody vegetation of the Caatinga, so important for the resident population, will behave in the face of climate change.

Keywords: Biological invasion; Climate models; Invasive exotic plants.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Mapa dos Domínios Fitogeográficos do Brasil.....	26
<b>Figura 2</b>	Mapas de distribuição potencial para as espécies-alvo na Caatinga nos cenários presente e futuros (SSP2-4.5 e SSP5-8.5).....	32-33
<b>Figura 3</b>	Distribuição da densidade (KDE) de <i>pixels</i> e gráficos <i>boxplots</i> nos cenários climáticos atual (A), futuro otimista (FO) e futuro pessimista (FP) para as espécies-alvo (A) <i>Calotropis procera</i> ; (B) <i>Cryptostegia madagascariensis</i> ; (C) <i>Nicotiana glauca</i> ; (D) <i>Parkinsonia aculeata</i> ; (E) <i>Prosopis juliflora</i> ; e (F) <i>Ricinus communis</i> na Caatinga.....	34-35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Sigla, nome e unidade de medida das variáveis bioclimáticas (8) disponibilizadas pela plataforma <i>WorldClim</i> 2.1, que foram utilizadas para a modelagem.	27
<b>Tabela 2</b>	Valores do Teste de Kruskal-Wallis, gl (Grau de liberdade) e <i>p</i> -valor, das espécies de plantas exóticas invasoras.....	36
<b>Tabela 3</b>	Contribuição relativa das variáveis climáticas (%) utilizadas no estudo para cada espécie-alvo. Valores destacados em negrito representando maior contribuição.....	37

## LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

ADAs	Áreas Diretamente Afetadas
AR	Relatório de Avaliação (do inglês <i>Assessment Report</i> )
AUC	Área sob a curva do operador (do inglês <i>Area Under the Curve</i> )
CDB	Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica (do inglês <i>Convention on Biodiversity Diversity</i> )
CMIP	Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado (do inglês <i>Coupled Model Intercomparison Project</i> )
COP	Conferência das Partes (do inglês <i>Conference of the Parties</i> )
EEl	Espécies Exóticas Invasoras
GCMs	Modelos Climáticos Globais (do inglês <i>Global Climate Models</i> )
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IB	Invasão Biológica
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês <i>Intergovernmental Panel For Climate Change</i> )
KDE	Estimativa de Densidade de Kernel (do inglês <i>Kernel Density Estimation</i> )
MAXENT	Método de Máxima Entropia (do inglês <i>Maximum Entropy Method</i> )
MIROC-ES2L	Modelo para Pesquisa Interdisciplinar sobre Clima, Sistema Terrestre versão 2 para Simulações de Longo Prazo (do inglês <i>Model for Interdisciplinary Climate Research, Earth System version 2 for Long-Term Simulations</i> )
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
RCPs	Vias de Concentração Representativa (do inglês <i>Representative Concentration Pathways</i> )
SDMs	Modelos de Distribuição de Espécies (do inglês <i>Species Distribution Models</i> )
SSPs	Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (do inglês <i>Shared Socioeconomic Pathways</i> )
SDTF	Florestas Tropicais Sazonalmente Secas - FTSS (do inglês <i>Seasonally Dry Tropical Forests</i> )

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>14</b>
2.1 Invasão biológica	14
2.2 Aspectos gerais da Caatinga	16
2.3 Espécies exóticas na Caatinga	17
2.3.1 <i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T.Aiton	18
2.3.2 <i>Cryptostegia madagascariensis</i> Bojer	18
2.3.3 <i>Nicotiana glauca</i> Graham	19
2.3.4 <i>Parkinsonia aculeata</i> L.	20
2.3.5 <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	20
2.3.6 <i>Ricinus communis</i> L.	21
2.4 Mudanças climáticas na Caatinga	22
2.5 Modelos e modelagem climática	23
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>25</b>
3.1 Área de estudo	25
3.2 Levantamento das espécies exóticas invasoras e limpeza dos dados	26
3.3 Variáveis bioclimáticas preditoras	27
3.4 Modelo climático	28
3.4 Modelagem de distribuição das espécies invasoras	28
3.5 Análise de dados	29
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>5. DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>56</b>
APÊNDICE A – Variáveis bioclimáticas disponíveis na plataforma <i>WorldClim</i> 2.1	56
APÊNDICE B – Correlação entre as variáveis bioclimáticas do presente	57
APÊNDICE C – Valores médios dos <i>pixels</i> de distribuição potencial das espécies de plantas invasoras na Caatinga em cenários futuros.	58

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas associadas ao aceleração, por atividades antrópicas, do aquecimento global têm ganhado importância no cerne da comunidade científica em todo o mundo devido aos seus impactos imediatos e futuros potenciais na qualidade de vida humana, bem como na biodiversidade (CAVALCANTE; DUARTE; OMETTO, 2020). Na Caatinga brasileira os efeitos climáticos relacionam-se a acontecimentos extremos, como maiores períodos de estiagem (MARENGO, 2008, 2014; MARENGO *et al.*, 2017), aridização (LACERDA, F. F. *et al.* 2016) e enchentes (IPCC, 2021). Estudos têm mostrado que o futuro climático reduzirá a riqueza de espécies de plantas nativas diante das mudanças climáticas na Caatinga, em cenários futuros (TEIXEIRA, 2022).

As mudanças nas condições climáticas podem comprometer a abundância e distribuição de espécies no futuro (i.e., sua diversidade) (ANDERSON *et al.*, 2011). Alterações nos níveis de aridez, e por conseguinte a desertificação, podem levar a redução de áreas adequadas de ocorrência de plantas endêmicas e especialistas, em relação às características reprodutivas, na Caatinga (SILVA *et al.*, 2019b). Além disso, no futuro também é esperado que espécies lenhosas de baixo generalismo estejam mais sujeitas a extinguir-se no futuro devido às alterações climáticas, além da redução das assembleias de espécies de plantas raras no semiárido brasileiro (NASCIMENTO, 2021). No entanto, as alterações no clima são capazes aumentar a capacidade que muitas espécies exóticas invasoras (EIs) têm de invadir novas áreas, ao mesmo tempo que diminuem a resistência do ambiente à invasão (THUILLER; LAVOREL; ARAÚJO, 2005). Uma vez que, as EIs, são generalistas (DISLICH; KISSER; PIVELLO, 2002) e estão em constante aumento nas áreas ocupadas (PYSEK, 1995), justamente por apresentarem estratégias que facilitam a invasão e que são adaptadas a se inserir em ambientes perturbados e/ou alterados.

O processo de invasão biológica (IB) é caracterizado pela ocupação desordenada de uma espécie fora de sua área natural de dispersão geográfica, essa espécie é chamada de exótica (GONÇALVES *et al.*, 2011). A Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica (CDB, do inglês *Convention on Biodiversity Diversity*) expõe que as espécies exóticas são introduzidas mediante ações humanas, tanto de maneira voluntária ou involuntária (COP, 2002), na tentativa de suprir necessidades agrícolas, florestais (SANTOS, 2021), ornamentais e alimentícias (SILVA, 2013) e outras. Para as espécies que impactam negativamente o local onde foram introduzidas, estas são denominadas espécies exóticas invasoras (EIs) (LEÃO *et al.*, 2011; MORO *et al.*, 2012).

A introdução de EEIs é a segunda principal causa da perda de biodiversidade no planeta, ficando atrás apenas da destruição do habitat causada pelas ações antrópicas (ZILLER, 2001). A invasão biológica causa alterações dos ciclos ecológicos naturais, afetando os serviços ecossistêmicos, dificultando a recuperação de ecossistemas naturais e provocando a eliminação das espécies nativas (ZILLER, 2001; MORO *et al.*, 2012).

As plantas exóticas invasoras podem produzir alterações na ciclagem de nutrientes e produtividade vegetal, cadeias tróficas, estrutura, dominância, distribuição e funções de espécies num dado ecossistema, densidade de espécies, distribuição de biomassa, porte da vegetação, índice de área foliar, queda de serrapilheira, taxas de decomposição, processos evolutivos e relações entre polinizadores e plantas (LUGO, 1988; KOIKE *et al.*, 2006; ZILLER, 2006). Podem ainda produzir híbridos ao cruzar com espécies nativas e eliminar genótipos originais, ocupando o espaço de plantas autóctones, levando-as a diminuir em abundância e extensão geográfica, aumentando os riscos de extinção de populações e espécies (MACK *et al.*, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2003; ZILLER, 2006).

Os principais fatores para o sucesso da invasão biológica pelas plantas são a falta de inimigos naturais, a adaptação climática, a elevada produção de sementes, a facilidade de dispersão, a produção de exsudatos ou substâncias alelopáticas, entre outros que conferem vantagens competitivas, que possibilitam a essas espécies exercerem dominância nos novos sítios ocupados (AGRA, 2010). As invasoras competem com as espécies naturais por água, luz e disponibilidade de nutrientes, mesmo que escassas no ambiente (LANNES *et al.*, 2012).

No Brasil, a invasão biológica já é constatada em todos os ecossistemas com intensidades distintas (ZENNI; ZILLER, 2011; SOUSA *et al.*, 2017b). Todavia, a proliferação de EEIs pode ser potencializada pelas mudanças climáticas. As mudanças climáticas são um fator importante para o estabelecimento das invasoras, principalmente em regiões semiáridas como a Caatinga. Pois como previsto em estudos, a região de Caatinga apresentou tendências de aumento no número de meses com déficit hídrico, da aridização e da temperatura do ar próximo à superfície em até 4,4 °C, em cenário crítico, até 2100 (MARENGO, 2008, 2014).

Desse modo, a região semiárida, que já apresenta um período de chuvas bastante curto e irregular, passará por alterações consideráveis e desfavoráveis, levando o domínio fitogeográfico a *status* de aridez e dificultando a vida da população vulnerável da região e de espécies de plantas nativas (MARENGO, 2008) e favorecendo as espécies invasoras. Estudo realizado com a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), na região de Caatinga, indica que as mudanças climáticas influenciam positivamente a expansão da espécie na região (CAVALCANTE; FERNANDES; SILVA, 2020).

Visto isso, os modelos climáticos são ferramentas essenciais nos estudos de mudanças climáticas e bastantes utilizados na atualidade para medir o grau de alteração climática no planeta (MENDES, 2015). Um dos principais dispositivos que impulsionou o desenvolvimento de estudos em distribuição de espécies, foi o surgimento de modelos estatísticos globais, que relacionam dados de ocorrência de espécies com informações ambientais espaciais gerando previsões probabilísticas de ocorrências das espécies (ELITH; LEATHWICK, 2009), são os modelos de distribuição de espécies (SDMs, do inglês *Species Distribution Models*) (PETERSON *et al.*, 2011), tanto para o presente quanto para o futuro.

Na Caatinga, o número exato de espécies de plantas exóticas invasoras ainda é desconhecido. Todavia, estimativas apontam que existam neste domínio mais de 77 espécies naturalizadas, equivalente a espécies exóticas (FLORA DO BRASIL, 2023). Dentre as inúmeras espécies consideradas invasoras no Semiárido, há *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton, *Cryptostegia madagascariensis* Bojer, *Nicotiana glauca* Graham, *Parkinsonia aculeata* L., *Prosopis juliflora* (Sw) DC. e *Ricinus communis* L., que apresentam ampla distribuição e podem causar danos à região.

Entender como as mudanças climáticas futuras afetam a flora exótica é essencial para enxergar como será o futuro da Caatinga. E torna-se necessário, logo que, pode auxiliar na tomada de decisão, com base nas informações sobre áreas climaticamente favoráveis à invasão no futuro (GUISAN; EDWARDS; HASTIE, 2002). É através da modelagem de distribuição, tendo em vista que estudos com espécies de plantas invasoras na Caatinga ainda são escassos na literatura. Possibilita ainda, o entendimento sobre como será a estrutura lenhosa futura.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é responder como as mudanças climáticas podem influenciar na distribuição de espécies de plantas invasoras no futuro na Caatinga. Tendo como objetivos específicos: (I) avaliar as invasoras que podem ser favorecidas ou desfavorecidas pelas mudanças climáticas na Caatinga e (II) constatar quais as variáveis bioclimáticas de maior influência para proliferação de sua área potencial no futuro para as espécies estudadas. Com esse propósito, testamos a seguinte hipótese de as espécies de plantas invasoras avaliadas podem aumentar suas distribuições, já que estas são generalistas e apresentam alta adaptabilidade à ambientes perturbados.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Invasão biológica

A invasão biológica (IB), também conhecida como contaminação biológica, é um fenômeno relativamente novo para a ciência, mas representa uma das maiores ameaças às biotas nativas de todo o mundo (PETENON; PIVELLO, 2008; SOUZA, 2012). Globalmente as espécies exóticas invasoras (EEIs) são consideradas a segunda principal causa de perda de biodiversidade, superada apenas pela supressão direta de habitats pelo homem (AZEVEDO *et al.*, 2009). O fenômeno ecológico da invasão consiste na instalação e proliferação de uma espécie alóctone - animal ou vegetal, advinda de outras áreas - que leva ao desequilíbrio da comunidade (PIVELLO, 2011).

Normalmente a IB está associada aos interesses do ser humano, seja inicialmente pela exploração de espécies com fins ornamentais, alimentícios ou econômicos. De modo geral as EEIs podem ser divididas em dois grandes grupos, por tipo de introdução: (I) introdução voluntária, na qual se pretende fazer uso para fins específicos da espécie que foi naturalizada (e.g., vegetais para agricultura e uso ornamental, animais para pecuária e ambiente doméstico); (II) introdução involuntária/acidental, onde indivíduos são introduzidos ao acaso a um ambiente que não é coerente com o original (e.g., a introdução por água de lastro em embarcações, levando fauna pertencente de um continente a outro) (FERREIRA, 2022).

O processo de ocupação biológica, é caracterizado pela introdução de um organismo exótico em um ambiente distinto daquele de sua ocorrência natural, o qual, ao se adaptar, passa a disputar com vantagens sobre as espécies nativas, com isso se estabelecendo e proliferando de modo rápido (SOUZA, 2012; MEDEIROS *et al.*, 2018). A contaminação biológica pode ser dividida em quatro fases distintas: a introdução da espécie, seu estabelecimento ou fixação, sua expansão e o equilíbrio da espécie na comunidade (SILVA; RAMOS, 2019). Inúmeras EEIs de distintos hábitos de crescimento são encontradas nas mais diferentes formações vegetais do mundo (SOUSA; ANDRADE; XAVIER, 2016).

As invasoras vegetais que tomam esse *status* geralmente apresentam características ou atributos que as tornam melhores competidoras em relação às espécies autóctones, tais como: rápido crescimento, grande produção de sementes pequenas, de fácil dispersão e alta taxa de germinação, além da presença de compostos nocivos (alelopatia), exercendo, assim, dominância nos novos espaços ocupados (VIGILATO; ZAMPAR, 2011). A dominância que essas espécies podem apresentar tende a levar a homogeneização da flora das regiões afetadas, em um sistemático processo de empobrecimento da flora global (NUNES, 2014).

A introdução de espécies exóticas, seja acidental, intencionalmente ou por distúrbios provocados no ambiente físico e/ou na própria comunidade, distúrbios esses que na maioria das vezes estão ligados a atividades antrópicas (REJMÁNEK *et al.*, 2005; MATOS; PIVELLO, 2009). Podem também acontecer por meio de incentivos governamentais, muitas espécies são introduzidas em uma determinada região a outra, a exemplo daquelas usadas para fins econômicos, como *Prosopis juliflora* (Sw). DC. (algaroba), que acaba por formar densos maciços populacionais e competir com as espécies nativas (PEGADO *et al.*, 2006; AGRA, 2010). Afetando negativamente a estrutura da comunidade das áreas invadidas (ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2010). A destruição direta de habitats por desmatamento e fragmentação cria condições ambientais diferentes como pulsos de nutrientes, aumentos da incidência de queimadas e radiação solar, portanto oferecendo oportunidades para o estabelecimento de espécies generalistas e resistentes, muitas destas exóticas (MAGALHÃES; FORSBERG, 2016).

Os primeiros registros de invasões biológicas no Brasil datam de 1824, com a observação da expansão gradativa de populações de espécies invasoras (ZENNI; ZILLER, 2011; ANDRADE, 2013). Os problemas de invasão biológica já são constatados em todos os biomas brasileiros, com diferentes intensidades (SILVA, 2013). Muitas espécies exóticas foram introduzidas no país com a finalidade econômica, para servirem de alimentação para o gado, arborização de praças e cidades, ornamentação de jardins e também para a fabricação de biocombustível (ZILLER, 2001). As estimativas de prejuízos globais por IB giram em torno de 1,4 trilhões de dólares anualmente, o que representa cerca de 5% da economia global (AZEVEDO *et al.*, 2009). No Brasil, o custo da invasão biológica pode chegar a trilhões de reais/ano (ADELINO *et al.*, 2021).

As plantas exóticas invasoras podem produzir alterações na ciclagem de nutrientes e produtividade vegetal, cadeias tróficas, estrutura, dominância, distribuição e funções de espécies num dado ecossistema, distribuição de biomassa, densidade de espécies, porte da vegetação, índice de área foliar, queda de serrapilheira, taxas de decomposição, processos evolutivos e relações entre polinizadores e plantas (LUGO, 1988; KOIKE *et al.*, 2006; ZILLER, 2006). Além disso, podem ainda produzir híbridos ao cruzar com espécies nativas e eliminar genótipos originais, ocupando o espaço de plantas nativas, levando-as a diminuir em abundância e extensão geográfica, aumentando os riscos de extinção de populações e espécies (ZILLER; GALVÃO, 2003; ZILLER, 2006).

## 2.2 Aspectos gerais da Caatinga

A Caatinga ocupa uma área de cerca de 912.529 km<sup>2</sup>, equivalente a 10,7% do território nacional (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017), e engloba os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais (Figura 1). Predomina na região o clima semiárido, com uma precipitação anual máxima de 1.000 mm de chuva (FERNANDES; QUEIROZ, 2018). Todavia, na maior parte desse domínio, chove menos de 750 mm ao ano, são chuvas concentradas e distribuídas irregularmente em três meses consecutivos no período de novembro a junho (verão ou verão-outono) (ALVES; ARAÚJO; SANTOS, 2009), e incomuns durante os outros meses do ano (TROVÃO *et al.*, 2007). As temperaturas são altas e variam pouco, com médias anuais entre 25 °C e 30 °C e poucos graus de diferença entre as médias dos meses mais frios e mais quentes (SAMPAIO, 2010).

A vegetação típica da Caatinga faz parte do conjunto de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas - FTSS (SDTF, do inglês *Seasonally Dry Tropical Forests*) (PENNINGTON *et al.*, 2004). A região é caracterizada, em geral, com plantas de porte baixo, compreendendo principalmente árvores e arbustos que apresentam espinhos e microfilia (i.e., folhas pequenas), mecanismos para sobreviver em ambiente de poucas chuvas e baixa umidade (MAIA *et al.*, 2017), com presença de suculentas e um estrato herbáceo breve, presente somente durante a curta estação chuvosa (CARDOSO; QUEIROZ, 2007).

Os solos predominantes são os Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Luvisolos, Chernossolos, Cambissolos, Planossolos, Plintossolos, Vertissolos e Neossolos (ARAÚJO-FILHO, 2011) e costumam variar de extremamente rasos e pedregosos a relativamente profundos, dando lugar às caatingas de areia e a vazios demográficos (GANEM, 2017). A grande extensão, os tipos de clima e solo e as formas de relevo da região semiárida traduzem-se em diferentes paisagens, como os vales úmidos, as chapadas sedimentares e as amplas superfícies pediplanadas, o que poderia explicar a existência de flora com tão alto grau de variabilidade (ARAÚJO; SILVA, 2010).

A prática intensa do agronegócio, associada ao desmatamento e onipresença de caprinos, são os principais fatores responsáveis pela degradação dos solos do domínio, além de impulsionarem processos de desertificação em algumas áreas (GANEM, 2017). Abrigando uma população de 28 milhões de habitantes, dividida entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%) (INSA, 2022), portanto um dos semiáridos mais povoados do mundo e com altas exigências do uso dos recursos naturais para sobreviver, gerando altos níveis de impactos.

### 2.3 Espécies exóticas na Caatinga

Os estudos acerca da contaminação biológica iniciaram-se na região de Caatinga em meados dos anos de 1990, quando houve a necessidade de estudar os impactos causados pela algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) (ANDRADE, 2014). Introduzida com a finalidade de fornecer frutos para os animais, cerca viva, madeira para lenha (BURNETT, 2017) e ornamentação de praças, jardins e pátios das fazendas no Nordeste (SILVA, 2000), a espécie acabou se disseminando no semiárido e tornando-se praga de difícil remoção e controle.

Outros estudos realizados sobre invasão por plantas exóticas nos ecossistemas de Caatinga, identificaram várias invasoras que apresentam grande capacidade de causar danos sobre a vegetação. Sendo essas: *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., *Sesbania virgata* (Cav.) Poir., *Sporobolus indicus* (L.) R.Br., *Parkinsonia aculeata* L. (FABRICANTE *et al.*, 2009), *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne (ANDRADE, 2013; SOUSA *et al.*, 2017a e 2017b) e *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton (FABRICANTE; OLIVEIRA; SIQUEIRA-FILHO, 2013).

De acordo com a lista de espécies da FLORA DO BRASIL (2023) (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>), existem mais de 936 espécies naturalizadas, *i.e.*, espécies exóticas, registradas no Brasil e 77 para a Caatinga. Em muitos casos as plantas exóticas naturalizadas se tornavam capazes de colonizar outros habitats, passando a ser consideradas como invasoras (IUCN, 2001). Listando a presença de plantas exóticas invasoras ou potencialmente invasoras, LEÃO *et al.* (2011) constataram a existência de cerca de 51 espécies encontradas em sete estados do Nordeste. No qual, *P. aculeata* L., *C. procera*, *P. juliflora* e *R. communis* foram citadas na seguinte lista como espécies de alto risco para a biodiversidade nativa e que ocorrem em pelo menos três dos sete estados estudados. As espécies de alto risco listadas anteriormente são aquelas que já estão estabelecidas e expressam sua capacidade de invasão na região de Caatinga (LEÃO *et al.*, 2011).

O alto grau de distúrbios antrópicos na Caatinga, o qual pode resultar perda da biodiversidade, degradação dos solos e desertificação (CARVALHO, 2016), dificulta a regeneração da vegetação nativa e este é um fator que oferece vantagens às espécies de plantas invasoras no semiárido. Os ambientes degradados com baixa diversidade são mais susceptíveis às invasões de espécies exóticas, uma vez que esses ambientes possuem nichos ecológicos esvaziados (ZILLER, 2001). As invasoras se beneficiam do antropismo na limpeza de terras e degradação do solo pela agricultura e gado (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Estudos

com a invasora *C. madagascariensis*, no Ceará, comprovaram que a abertura da vegetação contribuiu para a proliferação da espécie (SOUSA *et al.*, 2017a).

### **2.3.1 *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton**

*Calotropis procera* (Apocynaceae) é popularmente conhecida como “algodão-de-seda”, “algodão brabo”, “algodão-de-praia” ou “leiteiro” devido às longas fibras brancas presas às suas sementes como uma adaptação à dispersão pelo vento. É uma planta perene, arbustiva ou sub-arbórea, podendo chegar a 5 m de altura (FERREIRA, 2022) e nativa do sudoeste da Ásia e África (MENELAU, 2008). A espécie possui uma ampla distribuição geográfica, especialmente em áreas semiáridas (MELO *et al.*, 2001).

A espécie tem alguns atributos comumente encontrados em plantas invasoras, como floração contínua e autogamia em áreas invadidas, alta produção de sementes eficientemente dispersas pelo vento e rápido crescimento após estabelecimento (SOBRINHO *et al.*, 2013). É uma espécie comum em áreas de pastagem, margens de estradas e áreas cultivadas, formando densas populações de difícil remoção (MELO *et al.*, 2001). *C. procera* apresentou grande abundância de indivíduos, rápido estabelecimento, produção de grandes quantidades de frutos e sementes, alta taxa de germinação em laboratório, indicativos de substâncias alelopáticas em suas folhas e com ampla distribuição geográfica (FABRICANTE *et al.*, 2013).

### **2.3.2 *Cryptostegia madagascariensis* Bojer**

*Cryptostegia madagascariensis* é uma planta encontrada originalmente na ilha de Madagascar, na África, (SOUSA *et al.*, 2013), pertencente à família Apocynaceae, introduzida no Brasil como espécie ornamental devido a coloração lilás vibrante de suas flores (SILVA *et al.*, 2017). Comumente chamada de “unha-do-diabo”, “unha-do-cão”, “unha-de-moça”, “cipó-de-sapo”, “viuvinha” e “boca-de-leão” (SOUSA *et al.*, 2013).

Podendo crescer em florestas secas, áreas agrícolas, savanas e em pastagens perturbadas pelo homem (BARBOSA *et al.*, 2019). A espécie apresenta hábito arbustivo, desenvolvendo ramos trepadores, que quando não podados, podem alcançar alturas consideráveis, usando como suporte outras plantas (VIEIRA *et al.*, 2004) e esse tipo de comportamento é característico por escalar até sombrear completamente a copa dos seus hospedeiros, competindo por luz solar (MEDEIROS, 2021).

No Brasil, destaca-se maior presença na região de Caatinga, em locais próximos à mata ciliar e planícies aluviais, onde nessas zonas *C. madagascariensis* apresenta alta

densidade de populações (BARBOSA *et al.*, 2019). A unha-do-cão, como é conhecida, tem causado sérios danos à vegetação de mata ciliar do estado do Ceará, principalmente a carnaubeira (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore), que devido ao seu hábito de crescimento chega a causar a morte por sombreamento, já que seus ramos trepadores apresentam grande produção de biomassa, que impedem a passagem de luz, causando asfixia, estrangulamento e tombamento (ANDRADE, 2013).

*C. madagascariensis* apresenta germinação, floração e frutificação ocorrendo durante todo ano (BARBOSA *et al.*, 2019), aspectos que contribuem para a adaptação e formação de grandes populações da espécie na Caatinga. Apresenta sementes com dispersão anemocórica, sendo pequenas e leves, com plumas, que facilitam o transporte pelo vento e favorecendo a ocupação de outros locais (SILVA, 2013; MEDEIROS, 2021), além da alta produção de sementes (SILVA, 2013), que associada a anemocoria possibilita a ocupação em áreas abertas da Caatinga, geralmente antropizadas. A espécie diminui a diversidade de indivíduos e altera drasticamente a vegetação nativa de Caatinga, contribuindo, portanto, para a homogeneização e degradação do semiárido (SOUSA *et al.*, 2017a; BARBOSA *et al.*, 2019). Podendo ainda está relacionada a liberação de compostos alelopáticos que contribuem com a colonização do ambiente de Caatinga (MEDEIROS, 2021).

### 2.3.3 *Nicotiana glauca* Graham

*Nicotiana glauca* (Solanaceae), conhecida popularmente como “fumo-bravo” ou “charuto-do-rei”, é uma espécie arbustiva que tem de 2-6 m de altura (MORAES *et al.*, 2009; STEHMANN *et al.*, 2015). Nativa da Argentina, Paraguai e Bolívia, foi introduzida em muitas regiões quentes do mundo como planta ornamental (SANZ-ELORZA; DANA; SOBRINO, 2004). A espécie destaca-se pela presença química de nicotina, anabasina, cumarinas, terpenos, esterpoídes e alcalóides piridínicos, sendo seus compostos tóxicos para a maioria dos herbívoros (NEE, 1986). No Brasil, *N. glauca* é mais suscetível à ocorrência em regiões semiáridas e subúmidas (FABRICANTE *et al.*, 2015).

A espécie expressa altas taxas de transpiração, o que pode comprometer a disponibilidade dos recursos hídricos para as espécies autóctones de clima seco (BRANDES, 2000; SANZ-ELORZA; DANA; SOBRINO, 2004), principalmente na região de Caatinga, por apresentar um baixo regime de chuvas e grandes períodos de estiagem. Na região, a espécie é documentada nas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), particularmente no Eixo Leste, apresentando comportamento

agressivo (FABRICANTE *et al.*, 2015). Além disso, *N. glauca* apresenta partes tóxicas tanto para o ser humano quanto para outras espécies herbívoras, em razão da presença do alcalóide anabasina (RAGONESE, 1955).

#### **2.3.4 *Parkinsonia aculeata* L.**

A espécie *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae) é caracterizada como um arbusto espinhoso ou árvore de pequeno porte (3 - 10m), conhecida popularmente como “turco”, “cina-cina” ou “espinho de Jerusalém” (FABRICANTE *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2019a). Apresenta casca verde ou marrom (SANZ-ELORZA; DANA; SOBRINO, 2004; LAWES; GRICE, 2007; ROMÃO; MANSANO, 2023). Tem sua origem provável nas zonas semiáridas das Américas, porém nos dias atuais é considerada cosmopolita, em virtude da sua introdução em vários países (FABRICANTE *et al.*, 2009). Na Austrália, *P. aculeata* é considerada uma das piores ervas daninhas, devido à sua capacidade de invasão, potencial de propagação e impactos econômicos e ambientais (HEARD & BELL, 2009).

No Brasil, *P. aculeata* está presente em todas as regiões, principalmente no Nordeste e Rio Grande do Sul, ocorrendo sobretudo em área de Caatinga degradada e alagada, além dos diversos domínios fitogeográficos que passam por atividades antrópicas (ROMÃO; MANSANO, 2023). Inicialmente restritas às áreas paludosas, particularmente de lagoas naturais do semiárido e/ou margens de açudes e represas assoreadas (AGRA, 2010). Contudo, estão se proliferando de maneira preocupante e ocupando nichos na Caatinga, onde a mesma nunca foi antes encontrada, formando populações de alta densidade (ANDRADE, 2006).

#### **2.3.5 *Prosopis juliflora* (Sw) DC.**

Conhecida como algaroba, *Prosopis juliflora* (Sw) DC é uma planta invasora arbórea nativa das Américas Central e do Sul, pertence à família Fabaceae e que se tornou invasora em muitos países com climas áridos e semiáridos (ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2009). É considerada uma EEI no semiárido brasileiro (ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2010). A maioria das espécies de *Prosopis* podem sobreviver em áreas com baixa pluviosidade e períodos secos muito longos, facilitando seu estabelecimento e disseminação em regiões semiáridas (PASIECZNIK *et al.*, 2001).

Introduzida no Brasil em 1942, na cidade de Serra Talhada-PE, com sementes provenientes do Peru (RIBASKI *et al.*, 2009). Na década de 1980 o governo federal brasileiro

promoveu a distribuição de mudas da algaroba, o que levou a populações espalhadas pelos estados do Nordeste e pela Caatinga (ZENNI; ZILLER, 2011). O cultivo foi estimulado essencialmente por conta do seu potencial forrageiro e fonte de estaca e lenha para as comunidades rurais (ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2009). Além disso, a sua expansão se deve aos plantios comerciais e a pela regeneração natural da espécie, já que sua dispersão é feita por animais de pastoreio (ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2010), em sua maioria caprinos e bovinos.

A algaroba tem causado grandes transtornos a região da Caatinga por formar densos maciços populacionais e crescer juntamente com as espécies nativas, acarretando severas alterações na composição florística, diversidade e estrutura das comunidades vegetais autóctones, tanto do estrato adulto, quanto de espécies regenerantes (PEGADO *et al.*, 2006; ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2009). *P. juliflora* altera drasticamente a composição vegetal da região em comparação a locais não afetados pela sua presença (ANDRADE; FABRICANTE; OLIVEIRA, 2010). Além disso, a invasora apresentou vantagens adaptativas na captura de recursos, resistência ao estresse oxidativo e eficiência no uso da água em condições desfavoráveis na Caatinga, em comparação ao angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan) (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

### **2.3.6 *Ricinus communis* L.**

A mamona como é conhecida, *Ricinus communis* L., é uma espécie oleaginosa, arbustiva da família Euphorbiaceae de origem no continente africano (CABI, 2018), com possível origem na região de países como Etiópia e Somália (SANZ-ELORZA; DANA; SOBRINO, 2004). A mamona é uma invasora perene, de coloração verde que pode variar em diversas tonalidades ou avermelhadas. Além disso, apresenta autopolinização ou polinização cruzada pelo vento e tolerância a baixa pluviometria (RICARDO-JESUS *et al.*, 2021a). O fruto pode possuir espinhos ou ser liso. Suas folhas, caule e frutos podem variar em colorações de verde, lobadas de formas e de diversos tamanhos (OLIVEIRA, 2004; RICARDO-JESUS *et al.*, 2021a).

Comum em todo o país, mas com expressiva ocorrência no nordeste brasileiro (LEÃO *et al.*, 2011). O sucesso na disseminação de suas sementes é um dos fatores para a invasão da mamona, que se deve aos pássaros, pois estes comem seus frutos e descartam as sementes prontas para serem germinadas, além da correnteza de rios (OLIVEIRA, 2018). Apresenta

tendência a invadir ambientes degradados, como beira de rodovias, margens de rios e terras agricultáveis (LEÃO *et al.*, 2011).

## 2.4 Mudanças climáticas na Caatinga

As mudanças climáticas referem-se a uma alteração no estado do clima que pode ser identificada (e.g., através de testes estatísticos) por alterações na média e/ou na variabilidade de suas propriedades e que persiste por um período prolongado, normalmente décadas (IPCC, 2018). Podendo ser devida a processos naturais internos ou forças externas, como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e mudanças antropogênicas persistentes na composição atmosférica ou no uso e manejo da superfície terrestre (IPCC, 2018).

As alterações nas condições ambientais geradas pelas mudanças climáticas podem deformar ainda mais o padrão de riqueza e composição de espécies nessas paisagens aliados à intensa perturbação antrópica (GIBB *et al.*, 2015). Dessa forma, os efeitos simultâneos das mudanças no clima e no uso da terra podem aumentar ainda para mais as dramáticas taxas de invasões biológicas (BELLARD *et al.*, 2013).

Os modelos climáticos do IPCC têm mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode chegar entre 1,4 e 5,8°C (MARENGO, 2007). Para o futuro da Caatinga o foi projetado aumento na temperatura do ar próximo à superfície em até 4,4 °C no cenário mais crítico, ao final deste século (CAVALCANTE; FERNANDES; SILVA, 2020). Além disso, ocorrerão maiores intervalos de estiagens, com diminuição entre -30% e -35% nos padrões de chuva regional (MARENGO *et al.*, 2012), acréscimo na temperatura de 4,5°C até 2100 (PBMC, 2013) e dos solos em situação de aridez e desertificação (MARENGO *et al.*, 2017). A principal ameaça em cenários futuros de mudanças climáticas na Caatinga é o processo de aridização (IPCC, 2007). Além disso, secas agrícolas e ecológicas severas estão previstas para a América do Sul (IPCC, 2021).

A região semiárida brasileira é a mais densamente povoada do mundo, onde vivem cerca de 28 milhões de pessoas (INSA, 2022). Gerando alta demanda para suprir as necessidades dessa população, que sem o manejo adequado, tem degradado o solo e suprimindo a vegetação nativa da Caatinga. Aliado a isto, 80% de seus ecossistemas originais já foram alterados, principalmente por meio de desmatamentos e queimadas (IBGE, 2022). Conseqüentemente, o domínio que já enfrenta várias adversidades antrópicas no manuseio da terra, sentirá de forma mais intensa os efeitos das mudanças climáticas até o final do século, com prejuízos incalculáveis para os ecossistemas e os sistemas humanos e sociais (ALMEIDA; CAVALCANTE; SILVA, 2020).

## 2.5 Modelos e modelagem climática

Um grande desafio para os cientistas é estimar futuras mudanças climáticas. Para isso, instrumentos muito úteis estão sendo usados para essas projeções, os Modelos Climáticos Globais (GCMs, do inglês *Global Climate Models*) (ASSIS, 2016). Os modelos climáticos são um dos principais meios para o entendimento de como o clima pode mudar no futuro e realizar inferências precisas de que forma afetará a biodiversidade. Estes simulam a física, a química e a biologia da atmosfera, da terra e dos oceanos em grande detalhe e requerem equipamentos refinados para gerar suas projeções climáticas (HAUSFATHER, 2019). São ferramentas usadas para projeções do clima no futuro, como consequência de futuros cenários de forçantes climáticas (gases de efeito estufa e aerossóis) (MARENGO, 2006).

Os modelos climáticos utilizados para a construção dos relatórios Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel For Climate Change*), garantem modelos mais realistas, sobretudo em relação aos eventos de precipitação e aumento dos Gases de Efeito Estufa (GEEs) (ASSIS, 2016). O Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado (CMIP, do inglês *Coupled Model Intercomparison Project*) é uma estrutura para experimentos de modelos climáticos, permitindo que os cientistas comparem, validem e aprimorem os GCMs de forma sistemática, aumentando a credibilidade das projeções (EYRING *et al.*, 2016), este é usado no IPCC e que atualmente o projeto está na sua sexta fase.

Nos Relatórios de Avaliação anteriores do IPCC, os AR (do inglês *Assessment Report*), os cenários climáticos são denominados de Vias de Concentração Representativa (RCPs, do inglês *Representative Concentration Pathways*). Para o CMIP6 têm-se as novas versões desses futuros, os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs, do inglês *Shared Socio-economic Pathways*). Os SSPs são quatro diferentes cenários que descrevem evoluções alternativas de futuros para a sociedade (O'NEILL *et al.*, 2016) e estas são maneiras de analisar como o mundo pode evoluir na ausência de políticas climáticas e como diferentes níveis de mitigação das mudanças climáticas (HAUSFATHER, 2018), no que se refere ao uso dos combustíveis fósseis e emissão dos GEEs (RIAHY *et al.*, 2017) e sequestro de CO<sub>2</sub>. São divididos em SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, com a adição recente de um novo cenário, o SSP1-1.9. Os cenários SSPs 1 e 5 prevêem tendências otimistas para o desenvolvimento, com investimentos substanciais em educação e saúde, rápido crescimento econômico e bom funcionamento das instituições. Entretanto, o SSP5 assume uma economia intensiva em energia baseada em fósseis, enquanto no SSP1 há uma mudança crescente em

direção a práticas sustentáveis (O'NEILL *et al.*, 2016), com emissões baixas de CO<sub>2</sub> e de GEEs abaixo zero após 2050, para SSP1-1.9 e SSP1-2.6 (IPCC, 2021).

As emissões dos GEEs variam de acordo com os cenários, em função de hipóteses das socioeconômicas, níveis de mitigação à mudança do clima, e, no caso de aerossóis e precursores não-metano de ozônio, controles de poluição atmosférica postas no ambiente (IPCC, 2021). Em relação ao aumento das temperaturas médias da superfície do globo no período de 2081-2100, tem-se em comparação ao período de 1850-1900, para cada cenário as seguintes estimativas: crescimento de 1,4°C (entre 1,0°C e 1,8°C) no cenário de emissões muito baixas de GEEs em SSP1-1.9; aumento de 1,8°C (variando entre 1,3°C a 2,4°C) em SSP1-2.6; de 2,7°C no cenário intermediário (2,1°C a 3,5°C) (SSP2-4.5); 3,6°C (2,8 a 4,6°C) para SSP3-7.0; e de até 4,4°C (variando 3,3 a 5,7°C) em SSP5-8.5 (IPCC, 2021). O período de 2081 a 2100 é colocado devido às mudanças na temperatura da superfície global serem reportadas em médias consecutivas a cada 20 anos. O IPCC (2021) também projeta que um clima mais quente intensificará as estações do ano e os eventos de tempo e clima muito úmidos e muitos secos, com alto impacto de enchentes ou secas severas, mas suas localizações e frequência dependerá de mudanças na circulação atmosférica. As chuvas relativas ao evento *El Niño* poderão aumentar na segunda metade do século nos cenários climáticos SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5 (IPCC, 2021).

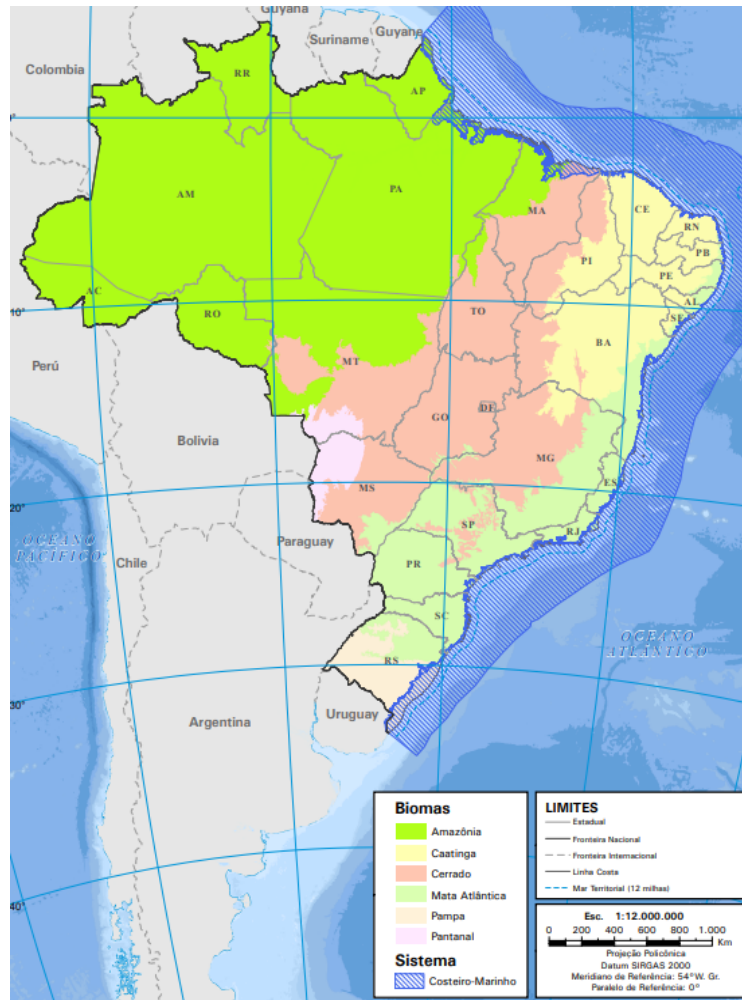
Os modelos de distribuição de espécies (SDMs, do inglês *Species Distribution Models*), modelos de nicho ecológico ou modelagem preditiva de distribuição de espécies (PETERSON *et al.*, 2011) são ferramentas usadas para entender a distribuição das espécies em termos de espaço e tempo. Estes abordando questões como impactos das mudanças climáticas globais na distribuição de espécies e quantificação de nichos ecológicos, que são importantes para o planejamento da conservação (PALACIO; GIRINI, 2018). Avaliaram modelos de distribuição, HIJMANS; GRAHAM (2006) constataram que são confiáveis para prever a distribuição de espécies. Ainda assim, é necessário escolher o modelo ideal dependendo da finalidade do estudo que este será aplicado (HIJMANS; GRAHAM, 2006).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo foi a extensão atual do domínio fitogeográfico da Caatinga brasileira, cuja área é de 912.529 km<sup>2</sup> (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017). Está localizada entre as latitudes 3° S e 17° S e as longitudes 35° O e 45° O e compreende os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, grande parte da Paraíba e Pernambuco, sudeste do Piauí, oeste de Alagoas e Sergipe, região norte e central da Bahia e uma faixa estendendo-se ao norte de Minas Gerais (PRADO, 2003). Fazendo fronteira geográfica com os biomas de Mata Atlântica e Cerrado (Figura 1). A região de Caatinga é composta por florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) em virtude de um regime de chuva irregular e vegetação arbustivo-espinhosa (LEAL *et al.*, 2005). De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, o domínio está submetido ao clima semiárido quente - BSw<sub>h</sub> (ALVARES *et al.*, 2014). É uma região caracterizada por altas taxas de evapotranspiração, ocorrências de período de seca, solos rasos e reduzida capacidade de retenção de água (SILVA; CARVALHO; BECERRA, 2011).

Figura 1 – Mapa dos Domínios Fitogeográficos do Brasil.



Fonte: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www.ibge.gov.br/>).

### 3.2 Levantamento das espécies exóticas invasoras e limpeza dos dados

Para a obtenção dos dados georreferenciados das espécies-alvo, *Calotropis procera*, *Cryptostegia madagascariensis*, *Nicotiana glauca*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora* e *Ricinus communis*, no Brasil, recorreu-se às plataformas *speciesLink* (<https://specieslink.net/>) e Instituto Hórus (<https://institutohorus.org.br/>). Para a busca na *speciesLink* foi usado o nome científico das espécies, com os filtros originais e conscientes, para obtenção das coordenadas geográficas. Na base de dados do Instituto Hórus, por ser nacional, foi necessário apenas aplicar o nome científico da espécie. Todos os dados são georreferenciados e apresentam as coordenadas geográficas para cada espécie, de modo que, foram retiradas aquelas que apareciam em duplicidade ou de modo incorreto. Para a remoção de pontos que ocorriam do fora do ambiente natural (i.e., áreas sem cobertura vegetal), utilizou-se a camada do complemento de cobertura e uso do solo do projeto Mapbiomas (versão 4.1)

(<https://mapbiomas.org/>). As coordenadas foram organizadas a partir da ocorrência da espécie no Brasil, seguido pelo código de área, latitude (lat10) e longitude (log10). Após os procedimentos de filtragem obteve-se: 60 coordenadas para *Calotropis procera*, 19 correspondente a *Cryptostegia madagascariensis*, 79 de *Nicotiana glauca*, 90 de *Parkinsonia aculeata*, 147 de *Prosopis juliflora* e 235 de *Ricinus communis*.

### 3.3 Variáveis bioclimáticas preditoras

A base de dados *WorldClim* (versão 2.1) ([www.worldclim.org/](http://www.worldclim.org/)) disponibiliza 19 variáveis bioclimáticas para cada período (HIJMANS *et al.*, 2005) (ver APÊNDICE A). Anteriormente a modelagem, realizou-se testes de correlação de Pearson para excluir variáveis bioclimáticas que sejam fortemente correlacionados ( $r > 0,8$ ), considerando o modelo no presente, caso houvesse alto grau de correlação entre as variáveis bioclimáticas estas foram retiradas das análises (ver APÊNDICE C) (DANCEY; REIDY, 2006).

A retirada das variáveis com alta correlação proporciona uma maior confiabilidade e menor grau de erro aos modelos climáticos, bem como maior relevância para estudos sobre um conjunto regional de espécies durante os períodos considerados (SILVA *et al.*, 2019b). Desse modo, onze (11) variáveis foram excluídas. Utilizou-se na modelagem oito (8) variáveis bioclimáticas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Sigla, nome e unidade de medida das variáveis bioclimáticas (8) disponibilizadas pela plataforma *WorldClim 2.1*, que foram utilizadas para a modelagem.

Sigla	Variáveis climáticas	Unidade
BIO7	Amplitude de temperatura anual (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
BIO12	Precipitação anual	mm
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)	mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente	mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	mm

### 3.4 Modelo climático

Para a realização da modelagem de distribuição potencial das espécies estudadas foram aplicados dados climáticos disponíveis na plataforma *WorldClim* (versão 2.1) ([www.worldclim.org/](http://www.worldclim.org/)) para dois períodos climáticos: 1) atual (1970-2000), o qual fornece informações sobre o clima mais próximo às condições observada no presente, e 2) futuro (2081-2100). Os dados bioclimáticos apresentam resolução 2,5 minutos (i.e., *pixels* com imagens de 21,4 km<sup>2</sup>).

Dentre os modelos climáticos globais (GCMs) disponibilizados pela *WorldClim* e que faz parte do sexto CMIP, utilizamos o Modelo para Pesquisa Interdisciplinar sobre Clima, Sistema Terrestre versão 2 para Simulações de Longo Prazo (MIROC-ES2L, do inglês *Model for Interdisciplinary Climate Research, Earth System version 2 for Long-Term Simulations*) para estimar a localização futura das espécies exóticas. O modelo é baseado na circulação atmosférica e inclui simulações de processos ecológicos, como dinâmica da vegetação, ciclagem de carbono e nitrogênio terrestre e emissão de GEEs na atmosfera da Terra, além dos ciclos de carbono, nitrogênio, ferro, fosfato e oxigênio para o oceano (HAJIMA *et al.*, 2020).

O modelo MIROC-ES2L apresenta diferentes cenários de mudanças climáticas, a partir de Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), que buscam compreender como as emissões de GEEs afetarão o futuro. Em suma, os cenários SSP disponíveis na base *Worldclim* para o modelo são: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, em que SSP1-2.6 é o cenário mais otimista e SSP5-8.5 é o mais pessimista. Neste estudo adotamos dois SSPs: SSP2-4.5 e SSP5-8.5. O cenário SSP2-4.5 prevê uma mudança lenta na maneira de uso dos recursos naturais, enquanto o cenário SSP5-8.5 é o mais pessimista, por usufruir implacavelmente de combustível fóssil e uso intensivo de energia não renovável, aumentando assim os GEEs (RIAHI *et al.*, 2017).

### 3.4 Modelagem de distribuição das espécies invasoras

A modelagem de distribuição atual e futura foi realizada com o auxílio da função MAXENT (versão 3.4.3), que se utiliza do método de máxima entropia para encontrar áreas climaticamente adequadas para ocorrência de espécies (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006), disponível no pacote “dismo” da ferramenta RStudio (versão 2.3.0). Essa

mesma função fornece também as contribuições relativas (%), das principais variáveis bioclimáticas que influenciam na modelagem de distribuição das espécies.

A modelagem de distribuição fornece valores não negativos para cada *pixel* da imagem, que variam de zero (0) a um (1). Onde os valores próximos a zero indicam a baixa probabilidade de ocorrência e os próximos de um com maior possibilidade. Assim, usamos a métrica da área sob a curva do operador (do inglês *Area Under the Curve* - AUC) para apontar os locais com base na ausência e presença das espécies-alvo (MCFARLAND *et al.*, 2013). O valor da AUC também varia de zero (0) a um (1), onde um valor AUC de 0,50 indica que o modelo não teve um desempenho melhor que o aleatório, ao passo que, um valor AUC de 1,0 indica discriminação perfeita (ELITH *et al.*, 2006). Modelos com melhor qualidade e confiança possuem valores de AUC próximos de um e então maior probabilidade de ocorrência, enquanto os modelos com valores próximos a zero, é menor a probabilidade de ocorrência e confiabilidade. Neste trabalho os valores de AUC para cada uma das espécies-alvo foi igual a: *Calotropis procera* de 0,930( $\pm$  0,009); *Cryptostegia madagascariensis* de 0,920( $\pm$ 0,009); *Nicotiana glauca* 0,989( $\pm$ 0,003); *Parkinsonia aculeata* de 0,971( $\pm$ 0,006); *Prosopis juliflora* de 0,984( $\pm$ 0,001); e *Ricinus communis* de 0,984( $\pm$ 0,001).

Por meio dos dados de presença foram produzidos mapas de ocorrência para as seis espécies invasoras, para os quais foi utilizada uma probabilidade de ocorrência variando de zero (0) a um (1), com colorações de banda Falsa-Cor no *software* QGIS (versão 3.22.1). Nesta situação, as cores variam entre azul e vermelho, indicando baixa e alta probabilidade de ocorrência, respectivamente.

### 3.5 Análise de dados

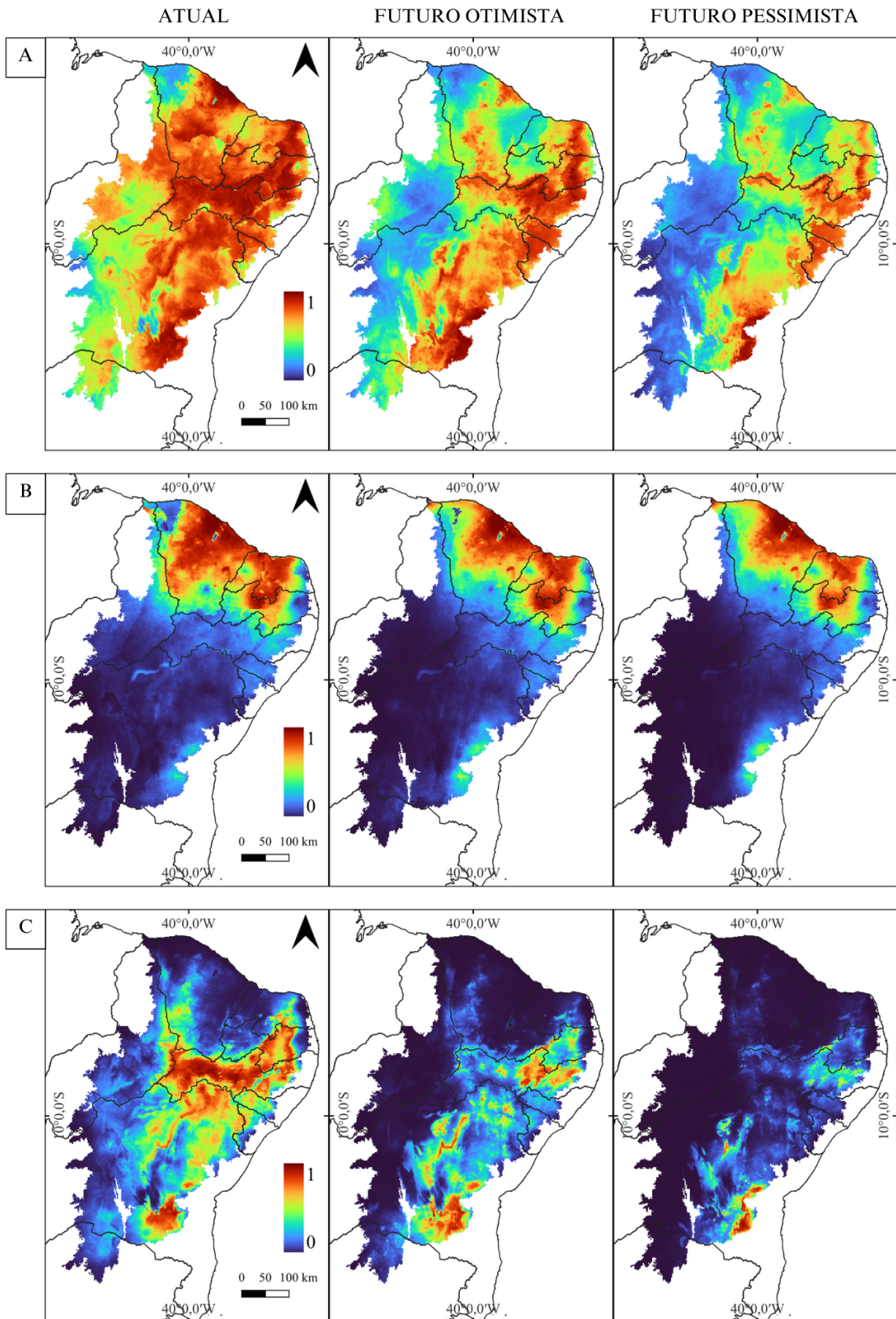
Para avaliar se existe maior distribuição potencial das plantas exóticas invasoras frente às mudanças climáticas, individualmente, realizamos as seguintes abordagens: 1) foi calculada a estimativa de densidade de Kernel (KDE, do inglês *Kernel Density Estimation*), utilizando o pacote 'sm' no R (BOWMAN; AZZALINI, 2019), para avaliar e comparar a frequência *pixels* nas diferentes probabilidades de ocorrência nos cenários atual e futuros climáticos; 2) comparou-se as diferenças na probabilidade de distribuição potencial média para as espécies-alvo em cada *pixel* nos três cenários climáticos. Além disso, foram feitos os testes não-paramétricos de Kruskal-Wallis (WALLIS, 1952), seguido do teste *a posteriori* de Nemenyi (SOKAL; ROHLF, 1995), para avaliar diferenças na distribuição potencial média entre os diferentes cenários para cada uma das espécies. O ambiente para as análises de

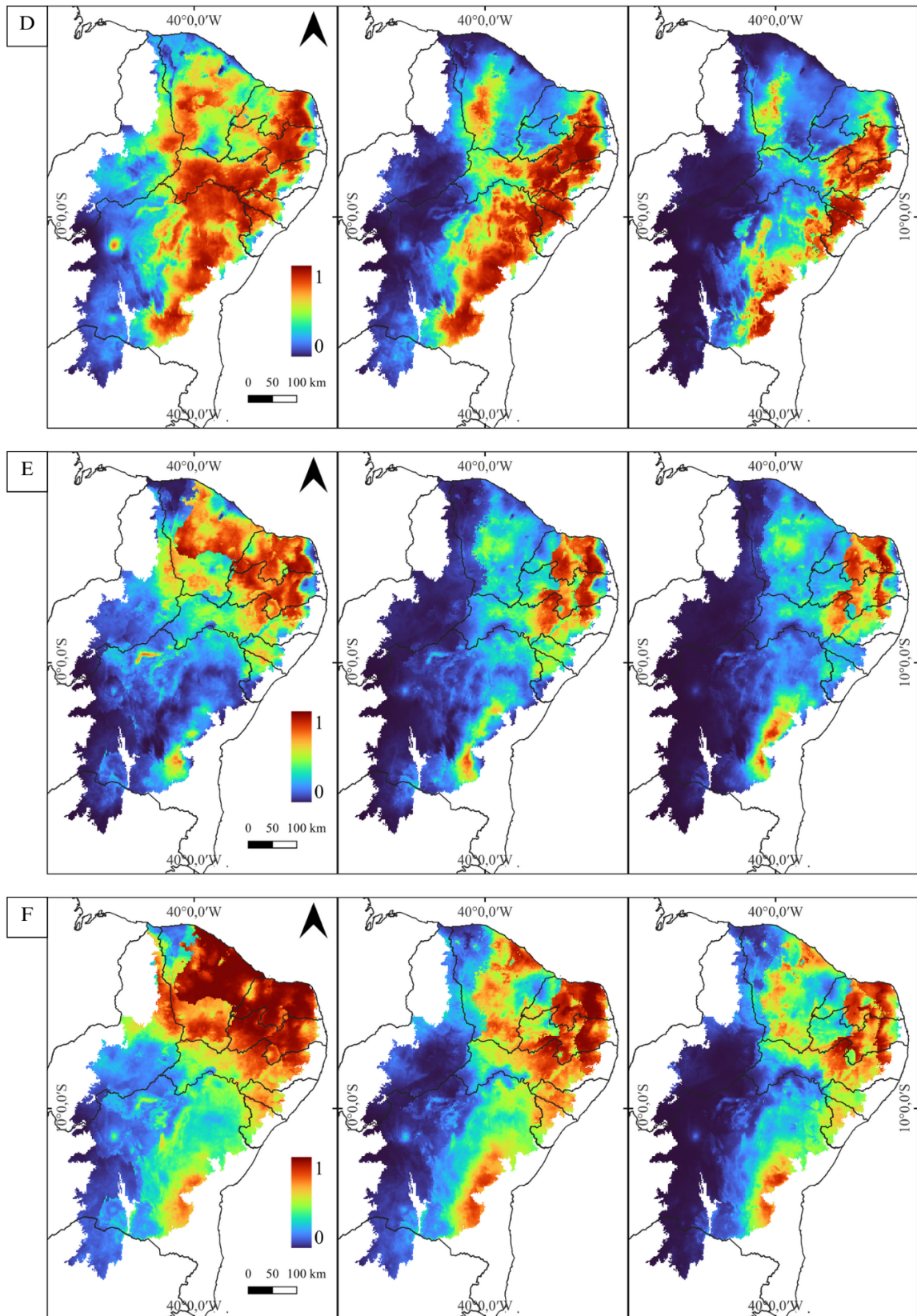
modelagem e análise de dados foi o R (versão 1.4), enquanto que a elaboração dos mapas e análise do potencial de ocorrência foram desempenhados na plataforma QGIS (versão 3.22.1).

#### 4. RESULTADOS

Observou-se que todas as plantas invasoras permanecem na Caatinga, no entanto, houve uma tendência a diminuição de suas áreas potenciais de ocorrência nos cenários futuros (Figura 2). A espécie *C. procera* apresentou baixa frequência na distribuição, com nichos restritos a leste e sudeste da Caatinga, nos cenários futuros otimista e pessimista, respectivamente (Figura 2a). Para *C. madagascariensis* também foi observada tendência à diminuição mais ao norte do Caatinga, presente em poucos pontos a sudeste da região no futuro (Figura 2b). Houve diminuição drástica para *N. glauca* em sua área nos dois cenários futuros, sem aumento no número de *pixels* de ocorrência na Caatinga (Figura 2c). A invasora *P. aculeata* tem seu espaço no futuro também reduzido, com zonas de maiores probabilidades de ocorrência ao leste da região (Figura 2d). O cenário futuro de *P. juliflora* é de diminuição, os pontos de maior distribuição ficaram restritos ao norte e leste da Caatinga (Figura 2e). O mesmo ocorre para a distribuição futura em *R. communis*, com a presença de *pixels* de maior probabilidade de distribuição ao leste, nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e sul da Bahia (Figura 2f).

Figura 2 – Modelagem de distribuição potencial das plantas exóticas invasoras na Caatinga nos cenários atual, futuro otimista e pessimista em termos de (A) *Calotropis procera*; (B) *Cryptostegia madagascariensis*; (C) *Nicotiana glauca*; (D) *Parkinsonia aculeata*; (E) *Prosopis juliflora*; e (F) *Ricinus communis* na Caatinga. O gradiente de cores variando entre azul escuro e vermelho, informa a probabilidade de ocorrência. Onde: o azul = menor probabilidade de ocorrência e vermelho = maior probabilidade de ocorrência.

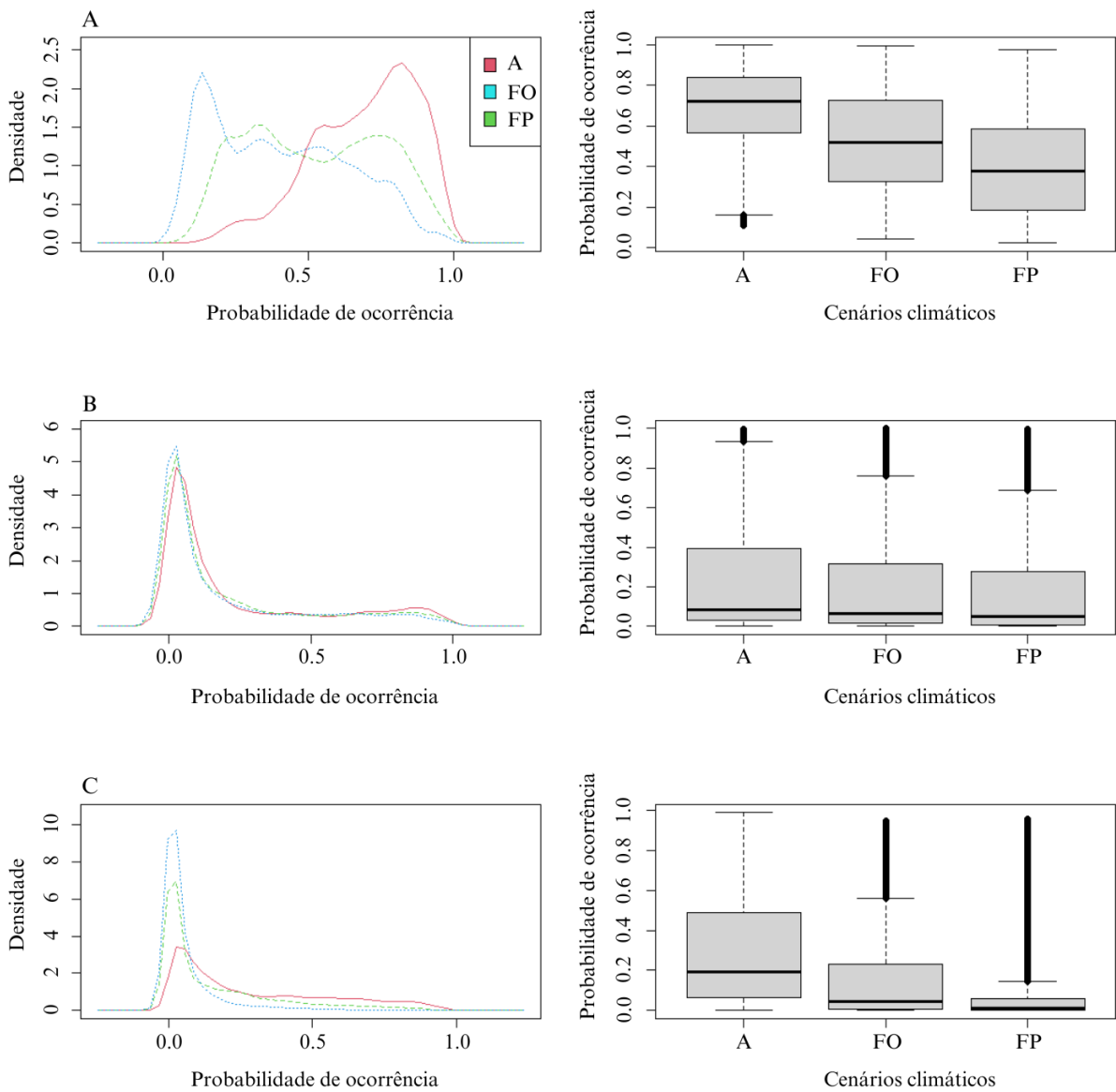


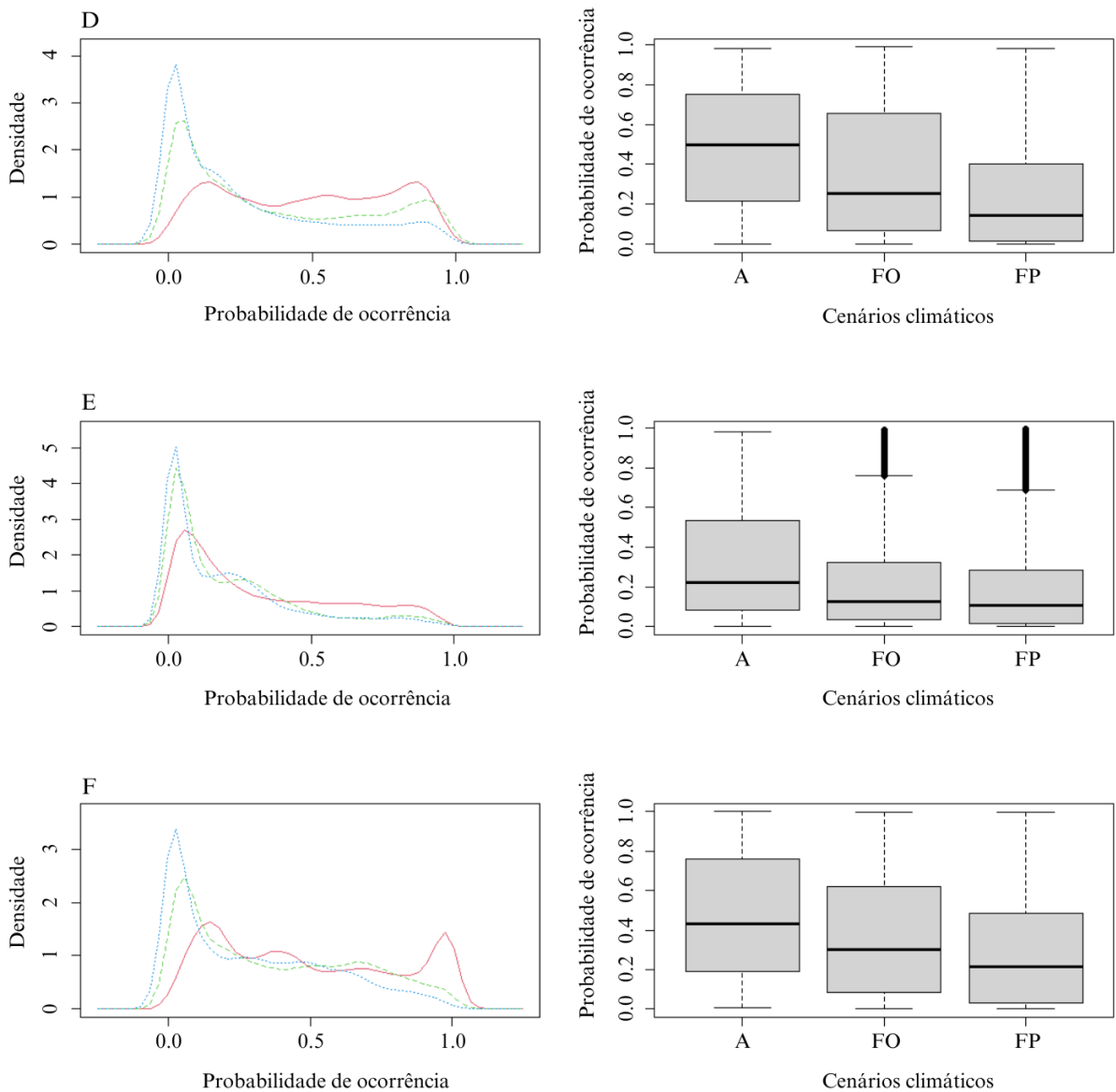


Fonte: O Autor (2023).

Observou-se que todas as espécies apresentaram diminuição na probabilidade de distribuição de *pixels* quando comparada ao cenário atual (A>FO>FP) (Figura 3). Nota-se também que há alta densidade de amostras com baixa probabilidade de distribuição para as espécies, com variações na distribuição de *C. procera*. Assim como, uma baixa densidade de amostras nos valores mais próximos a um, ou seja, menor quantidade de *pixels*.

Figura 3 – Distribuição da densidade (KDE) dos *pixels* e gráficos *boxplots* nos cenários climáticos atual (A), futuro otimista (FO) e futuro pessimista (FP), para as espécies-alvo (A) *Calotropis procera*; (B) *Cryptostegia madagascariensis*; (C) *Nicotiana glauca*; (D) *Parkinsonia aculeata*; (E) *Prosopis juliflora*; e (F) *Ricinus communis* na Caatinga.





Fonte: O Autor (2023).

As análises comparativas das distribuições em relação aos cenários atual e futuros (otimista e pessimista) para cada uma das espécies deram todas significativas (Kruskal-Wallis,  $p\text{-valor} \leq 0,0001$ , Tabela 2). Assegurando, então, que as distribuições dos cenários das espécies-alvo são diferentes entre os três modelos. Com isso, observou a diminuição das áreas potenciais de ocorrência para cada planta invasora, através dos valores médios dos *pixels*, comparando o cenário atual com o cenário futuro otimista e pessimista (ver APÊNDICE C). Obteve-se para *C. procera* uma redução média de 31% e 47%, em comparação com o cenário atual e futuros, respectivamente. Em *C. madagascariensis* a diminuição foi de 76% e 79%. *N. glauca* redução média de 71% e 85% para. *P. aculeata* com redução média de 51% e 63%. Em *P. juliflora* diminuição de 68% e 78%. *R. communis* 51% e 63% para em comparação com os valores médios dos cenários atuais e para os futuros.

**Tabela 2.** Análises das diferenças médias de probabilidade de ocorrência das espécies de plantas invasoras nos *pixels* nos três diferentes cenários climáticos na Caatinga: Atual, futuro otimista e pessimista.

	Teste Kruskal-Wallis	Gl	<i>p</i> -valor
<i>Calotropis procera</i> (Apocynaceae)	28597	2	< 0,0001
<i>Cryptostegia madagascariensis</i> (Apocynaceae)	3334,7	2	< 0,0001
<i>Nicotiana glauca</i> (Solanaceae)	31874	2	< 0,0001
<i>Parkinsonia aculeata</i> (Fabaceae)	14220	2	< 0,0001
<i>Prosopis juliflora</i> (Fabaceae)	7277,8	2	< 0,0001
<i>Ricinus communis</i> (Euphorbiaceae)	10495	2	< 0,0001

Em relação às contribuições relativas das variáveis bioclimáticas nos modelos de distribuição potencial, foi obtido que a variável climática de precipitação anual (BIO12) foi uma das mais intervenientes na modelagem, exercendo influência nos modelos de *C. procera*, *N. glauca*, *P. aculeata* e *R. communis*. A variável amplitude de temperatura anual (BIO7) influenciou na modelagem de *C. madagascariensis*, *N. glauca*, *P. aculeata* e *P. juliflora* (Tabela 3). Além dessas, destacam-se a influências das variáveis de precipitação do trimestre mais quente (BIO18) com respostas nos modelos das espécies *C. procera*, *P. aculeata*, *P. juliflora* e *R. communis*, e da sazonalidade de precipitação (BIO17) para as espécies *C. procera*, *C. madagascariensis* e *P. juliflora*.

**Tabela 3.** Contribuição relativa das variáveis climáticas (%) utilizadas no estudo para cada espécie de planta invasora. Amplitude de temperatura anual (BIO7); Temperatura média do trimestre mais úmido (BIO8); Temperatura média do trimestre mais seco (BIO9); Precipitação anual (BIO12); Sazonalidade de precipitação (BIO15); Precipitação do trimestre mais seco (BIO17); Precipitação do trimestre mais quente (BIO18); e Precipitação do trimestre mais frio (BIO19). Os valores destacados em negrito representam as maiores contribuições para cada planta invasora.

	BIO7	BIO8	BIO9	BIO12	BIO15	BIO17	BIO18	BIO19
--	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------

<i>Calotropis procera</i>	16	4	8,1	<b>21,6</b>	1,6	<b>19,7</b>	<b>23,6</b>	5,6
<i>Cryptostegia madagascariensis</i>	<b>31,9</b>	0,2	6,4	1,6	<b>17,8</b>	<b>16,1</b>	14,9	10,9
<i>Nicotiana glauca</i>	<b>18,2</b>	3,2	<b>10,1</b>	<b>57,5</b>	0,4	7,3	2,1	1,3
<i>Parkinsonia aculeata</i>	<b>26,3</b>	2	0,5	<b>57</b>	1,1	4,1	<b>7,9</b>	1,1
<i>Prosopis juliflora</i>	<b>27,1</b>	0,7	2,1	12,2	2	<b>21,9</b>	<b>25,5</b>	8,4
<i>Ricinus communis</i>	15	3,2	5	<b>19,8</b>	3,6	14,4	<b>20</b>	<b>18,9</b>

## 5. DISCUSSÃO

A combinação de mudanças climáticas e perda de habitat através das ações antrópicas e uso da terra pode acelerar ainda mais os processos de aridização e homogeneização da Caatinga, acarretando a perda de habitats adequados para plantas endêmicas e exóticas. Ressalta-se que a vegetação de Caatinga está atualmente reduzida a 50% de sua extensão original devido à expansão e intensificação de atividades humanas (SILVA *et al.*, 2019b), portanto as variações climáticas tendem a intensificar a perda na distribuição, causando uma maior padronização na vegetação. Além disso, impactando negativamente os serviços ecossistêmicos (*e.g.*, proteção dos solos e dos recursos hídricos) (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017).

A compreensão de como as mudanças climáticas futuras podem transformar a vegetação, aliada a ferramenta de modelagem de distribuição, contribui para o entendimento de como a vegetação de Caatinga será afetada. E sendo as espécies exóticas contribuintes para o processo de homogeneização da vegetação (*i.e.*, empobrecimento de espécies, diversidade e linhagens evolutivas) (ZWIENER *et al.*, 2017), afetando além da biota, a população que depende dos recursos provenientes do domínio. Entender que outros mecanismos influenciam a distribuição de espécies de plantas invasoras são necessários, para assim reverter e/ou amenizar o quadro climático futuro para a Caatinga e por conseguinte, contribuir para o planejamento de ações mitigadoras das mudanças climáticas no Semiárido brasileiro e investimentos em políticas de convivência com a região.

As respostas das espécies às mudanças climáticas podem ocorrer de quatro maneiras: (I) aclimatando-se fisiologicamente as novas condições ambientais; (II) surgindo adaptações evolutivas que lhes concedam vantagens; (III) mudando sua distribuição para áreas mais apropriadas; ou (IV) extinguindo-se local ou regionalmente em função das novas condições adversas (PETERSON *et al.*, 2011). Como pontuado por ZILLER (2001), AGRA (2010) e VIGILATO; ZAMPAR (2011), às plantas invasoras apresentam fatores que conferem benefícios na ocupação de novos ambientes, adaptação climática e elevada produção de sementes e facilidade na dispersão, dentre outros. Porém, nossos resultados não suportam a primeira hipótese levantada no estudo, de que as plantas exóticas invasoras por exibirem tais vantagens aumentarão suas áreas potencial de ocorrência no futuro.

Estudos em modelagem de plantas na Caatinga mostram diferentes panoramas de distribuição frente às mudanças climáticas. Dessa forma, divergindo dos resultados encontrados no presente estudo, ao analisar a distribuição da invasora *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) (palma forrageira), verificou que a espécie aumentou sua distribuição no futuro

(CAVALCANTE; FERNANDES; SILVA, 2020) o mesmo foi verificado para, também invasora, *Agave sisalana* Perrine ex Engelm., o sisal, na América do Sul (SANTOS, 2021). Além disso, vale ressaltar também que estas são espécies não-lenhosas presentes na Caatinga, divergindo das espécies-alvo presentes neste estudo. Além disso, convém ressaltar que estas são espécies não-lenhosas e de interesse econômico, portanto tendo forte efeito antrópico em sua distribuição.

Em contrapartida, as mudanças climáticas futuras interferiram negativamente nas distribuições da exótica *Mangifera indica* L. (mangueira) (SOBRINHO *et al.*, 2019) e nativa *Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy (palmatória) espécie endêmica da Caatinga (CENTENO-ALVARADO *et al.*, 2022). Esse panorama de redução de áreas adequadas se repetiu para de espécies de cactáceas epífitas, de hábito subarborescente e nativas da Caatinga (*Rhipsalis floccosa* Salm-Dyck ex Pfeiff., *Rhipsalis lindbergiana* K. Schum e *Rhipsalis russellii* Britton & Rose) que também verificaram a contração das áreas potenciais de ocorrência (CAVALCANTE; DUARTE, 2019).

Além disso, no presente estudo observou que as principais variáveis bioclimáticas que influenciaram na distribuição das espécies-alvo estão atreladas a precipitação e em segundo, a amplitude de temperatura anual. Estes são fatores que, como vistos anteriormente, passarão por mudanças e que interferem na biologia das espécies analisadas. E como colocado para a região de Caatinga, haverá redução da precipitação média, aumento na intensidade e na frequência de chuvas extremas e enchentes, e aumento dominante da duração das secas (IPCC, 2021). Estudos com plantas invasoras em Sergipe, verificaram que as variáveis ambientais de precipitação e temperatura também influenciam na distribuição, entretanto a precipitação teve maior contribuição (ALMEIDA; ALMEIDA; FABRICANTE, 2021). Visto que a água é o principal elemento controle das plantas na Caatinga, seguidos da temperatura, do fotoperíodo e do solo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Estudos mostraram que para as espécies invasoras alvo do estudo o componente precipitação é fundamental para a biologia reprodutiva e de dispersão destas. Em *Calotropis procera* a sua floração, frutificação e dispersão contínuas durante o ano (TABATINGA-FILHO, 2008), justamente pela sazonalidade de chuvas na Caatinga, ou seja, a chuva é um fator limitante para a espécie que se utiliza da continuidade como importante de dispersão. *Cryptostegia madagascariensis* floresce durante a estação chuvosa na Caatinga, e seus frutos podem ser observados o durante todo ano (VIEIRA *et al.*, 2004). Assim como para *Nicotiana glauca* que apresenta floração e frutificação durante o ano todo (VIGNOLI-SILVA; STEHMANN, 2005). *Parkinsonia aculeata* é uma espécie de comum ocorrência em

ambientes degradados e áreas alagadas na Caatinga (ROMÃO; MANSANO, 2023). Em *Prosopis juliflora* a floração e frutificação ocorre na estação seca, finaliza no início do período chuvoso e a maturação dos frutos de 60-70 dias após a fecundação (LIMA, 1994). A germinação em *Ricinus communis* é bastante influenciada pela água, sendo responsável pela hidratação inicial dos tecidos das sementes (RICARDO-JESUS *et al.*, 2021b). Dessa forma, a redução da probabilidade de ocorrência mais ao centro na região das espécies-alvo do nosso estudo, nos informa que há a possibilidade da redução dos padrões de chuvas nessa região mais central da Caatinga brasileira.

Caso as projeções de redução no regime de chuvas na região central de Caatinga se cumpram, esse panorama poderá interferir na distribuição das espécies mais ao leste e sudeste da região, se afastando desse centro mais escasso dos níveis de precipitação. A interferência da precipitação já era prevista no estudo, tendo em vista que a dependência das chuvas para manutenção da dos processos biológicos das plantas em ambiente de Caatinga (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012; CARVALHO, 2021) e por ser também um elemento essencial tanto para dispersão quanto para sobrevivência de plantas exóticas na Caatinga.

## 6. CONCLUSÃO

Foi investigado no presente estudo, por meio de modelagem de distribuição, como as áreas de potencial ocorrência de espécies de plantas exóticas invasoras serão afetadas em cenários futuros de mudanças climáticas. Em síntese, os resultados indicam que nos cenários climáticos futuros (2081-2100), tanto otimista (SSP2-4.5) como pessimista (SSP5-8.5), há uma redução das áreas adequadas para ocorrência de *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton, *Cryptostegia madagascariensis* Bojer, *Nicotiana glauca* Graham, *Parkinsonia aculeata* L., *Prosopis juliflora* (Sw) DC. e *Ricinus communis* L.. Essas mudanças na probabilidade de distribuição são influenciadas principalmente por variáveis como precipitação anual, amplitude de temperatura anual, precipitação do trimestre mais quente e precipitação do trimestre mais seco. Nossos resultados permitem considerar como diferentes opções político-ambientais, representadas pelos futuros otimista e pessimista, podem influenciar na distribuição de plantas exóticas invasoras na Caatinga, além de fornecer uma visão de como o futuro climático, ainda incerto, pode ser catastrófico para a Caatinga.

Para a região de Caatinga que passa por pressões antrópicas que aliadas com as mudanças climáticas poderão transformar áreas vegetadas em verdadeiros desertos, no futuro, caso as previsões de alterações climáticas se cumpram. As populações humanas mais pobres e dependentes dos recursos da Caatinga serão as mais atingidas pelas mudanças no clima. No que tange o aumento da temperatura, incertezas climáticas e na distribuição e fornecimento de água e alimento.

As espécies de plantas exóticas invasoras, mesmo sendo espécies que como visto na literatura causam transtornos às populações e ao ambiente semiárido, acendem o alerta de que as mudanças climáticas serão implacáveis para as plantas lenhosas invasoras em futuro de incertezas climáticas. A demanda por estudos nesse contexto continuará crescente, carecendo de esforços em pesquisas de como outras invasoras responderão às mudanças climáticas, principalmente para entender como o clima pode afetar a dinâmica da vegetação e por conseguinte a biota da Caatinga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELINO, J. R. P. *et al.* The economic costs of biological invasions in Brazil: a first assessment. **NeoBiota**, v. 67, p. 349-374, 2021.

AGRA, P. F. M. **Invasão biológica por *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae) no semiárido paraibano**: uma abordagem voltada para a ecofisiologia de sementes. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select\\_action=&co\\_autor=113268](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select_action=&co_autor=113268). Acesso em: 02 fev. 2023.

ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1-18, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1100/2012/205182>. Acesso em: 04 abr. 2023.

ALMEIDA, R. G. DE.; CAVALCANTE, A. DE M. B.; SILVA, E. M. DA. Impactos das Mudanças Climáticas no Bioma Caatinga na Percepção dos Professores da Rede Pública Municipal de General Sampaio - Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, p. 397-405, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/SyJFmxKNkXqBc4VXtKb6tdR/?lang=pt#>. Acesso em: 02 fev. 2023.

ALMEIDA, T. S.; ALMEIDA, R. P. S.; FABRICANTE, J. R. Variáveis climáticas influenciam a riqueza, composição e distribuição de plantas exóticas invasoras?. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 17, n. 7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.072401%20>. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/5921>. Acesso em: 24 mar. 2023.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref). Acesso em: 10 fev. 2020.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; SANTOS, S. N. Degradação da Caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró - RN, Brasil, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/560>. Acesso em: 10 set. 2022.

ANDERSON, M. J. *et al.* Navigating the multiple meanings of  $\beta$  diversity: a roadmap for the practicing ecologist. **Ecology letters**, v. 14, n.1, p. 19-28, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>. Acesso em: 04 abr. 2023.

ANDRADE, L. A. Espécies exóticas invasora no nordeste do Brasil: impactos nos ecossistemas locais. In: MARIATH, J. E. A.; SANTOS, R. P. (ed.). **Os avanços da botânica no início do século XXI**: morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética. Porto Alegre: Sociedade Botânica do Brasil, 2006.

ANDRADE, L. A; FABRICANTE, J. R; OLIVEIRA, F. X. Invasão biológica por *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.: impactos sobre a diversidade e a estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botanica Brasílica** [online], v. 23, n. 4, p. 935-943, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000400004>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000400004>. Acesso em: 05 nov. 2022.

ANDRADE, L. A; FABRICANTE, J. R; OLIVEIRA, F. X. Impactos da invasão de *Prosopis juliflora* (sw.) DC. (Fabaceae) sobre o estrato arbustivo-arbóreo em áreas de Caatinga no Estado da Paraíba, Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 32, n. 3, p. 249-255, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsoci.v32i3.4535>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/4535>. Acesso em: 02 mar. 2022.

ANDRADE, L. A. **Plantas Invasoras**: espécies exóticas invasoras da caatinga e ecossistemas associados. 1. ed. Campina Grande - PB: Epgraf, 2013.

ANDRADE, L. A. Invasão biológica na caatinga e ecossistemas associados: um problema emergente. **Informativo Abrantes**. v. 24, n. 3, p. 55-59, 2014.

ARAÚJO, L. V. C.; SILVA, J. A. Rede de manejo Florestal da Caatinga, Unidade Experimental Estação Ecológica do Seridó/RN. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília - DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010., p. 215 - 228.

ARAÚJO-FILHO, J. C. Relação solo e paisagem no Bioma Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 14, 2011, Dourados - SP. Dinâmicas socioambientais das inter-relações à interdependência. **Anais [...]**. Dourados: UFGD, 2011.

ASSIS, J. M. O. **Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22481>. Acesso em: 10 ago. 2022.

AZEVEDO, C. *et al.* Cadernos da Mata Ciliar 3: Espécies exóticas invasoras. SMA/SP - Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2009. ISSN 1981-6235.

BARBOSA, E. *et al.* Estrutura de um Fragmento de Caatinga Infestado por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 5, p. 1952-1966, junho 2019. ISSN 1984-2295. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1952-1966>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/241312>. Acesso em: 06 jan. 2023.

BELLARD, C. *et al.* Will climate change promote future invasions? **Global Change Biology**, v. 19, n. 12, p. 3740 - 3748, 2013.

BRANDES, D. *Nicotiana glauca* als invasive Pflanze auf Fuerteventura. BRANDES, D. (Hrsg.): Adventivpflanzen. Beiträge zu Biologie, Vorkommen und Ausbreitungsdynamik von Archäophyten und Neophyten in Mitteleuropa. Tagungsbecht des Braunschweiger

Kolloquiums vom 3. Braunschweig. **Braunschweiger Geobotanische Arbeiten**, v. 8, p. 39-57, 2000.

BOWMAN, A.; AZZALINI, A. Smoothing Methods for Nonparametric Regression and Density Estimation (Package ‘sm’), 2019. 55 p.

BURNETT, A. A “saga” político-ecológica da algaroba no semiárido brasileiro. **Revista de Estudos Sociais**, [S. l.], v. 19, n. 38, p. 148-175, 2017. DOI: <https://doi.org/10.19093/res5031>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/view/5031>. Acesso em: 06 fev. 2023.

CARDOSO, D. B. O. S.; QUEIROZ, L.P. Diversidade de Fabaceae nas Caatingas de Tucano, Bahia: implicações para a fitogeografia do semiárido do nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p.379-391, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860200758212>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860200758212>. Acesso em: 08 set. 2022.

CARVALHO, J. N. **Espécies nativas da caatinga para recuperação de áreas degradadas**: prospecção, ecofisiologia da germinação e crescimento de plantas. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 2016.

CARVALHO, C. E. **Traços funcionais como preditores da vulnerabilidade de plantas às mudanças climáticas**: estudo de caso no semiárido brasileiro. 2021. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/65718>. Acesso em: 20 mai. 2022.

CAVALCANTE, A. M. B.; DUARTE, A. S. Modeling the Distribution of Three Cactus Species of the Caatinga Biome in Future Climate Scenarios. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 45, n. 2, p. 191-203, 2019. Disponível em: <https://nieindia.org/Journal/index.php/ijeec/article/view/1675>. Acesso em: 05 mai. 2022.

CAVALCANTE, A. M. B.; FERNANDES, P. H. C.; SILVA, E. M. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. e as Mudanças Climáticas: Uma Análise à Luz da Modelagem de Distribuição de Espécies no Bioma Caatinga. **Revista Brasileira de Meteorologia [online]**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 375-385, Sept. 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862020000300375&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862020000300375&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 24 mar. 2021.

CAVALCANTE, A. M. B.; DUARTE, A. S.; OMETTO, J. P. H. B. Modeling the potential distribution of *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. under future climate scenarios in the Caatinga biome. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 2, p. e20180836, 2020.

CENTENO-ALVARADO, D. *et al.* Climate change may reduce suitable habitats for *Tacinga palmadora* (Cactaceae) in the Caatinga dry forest: species distribution modeling considering plant-pollinator interactions. **Regional Environmental Change**, v. 22: 16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01873-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-021-01873-0>. Acesso em: 12 abr. 2023.

CENTER FOR AGRICULTURE AND BIOSCIENCE (CABI). Invasive Species Compendium. 2018. Disponível em: <http://www.cabi.org/isc/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA E INFORMAÇÃO AMBIENTAL (CRIA). *SpeciesLink*. Disponível em: <http://splink.cria.org.br/>. Acesso em: 02 fev. 2022.

COP 6 Decisions - Sixth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, p. 7 - 19, April 2002 - The Hague, Netherlands.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. Análise de correlação: o r de Pearson. In: DANCEY, C. P.; REIDY, J. (ed.). **Estatística sem matemática para psicologia**. Porto Alegre: Artmed, 2006. cap. 5, p. 178-216.

DISLICH, R.; KISSER, N.; PIVELLO, V. R. A invasão de um fragmento florestal em São Paulo (SP) pela palmeira australiana *Archontophoenix cunninghamiana* H. Wendl. & Drude. **Brazilian Journal of Botany**, v. 25, n. 1, p. 55-64, 2002.

ELITH, J. *et al.* Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, n. 2, p. 129-151, 2006.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 40, p. 677-697, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>. Acesso em: 02 fev. 2022.

EYRING, V. *et al.* Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, p. 1937-1958, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/9/1937/2016/>. Acesso em: 08 nov. 2022.

FABRICANTE, J. R. *et al.* Respostas da *Parkinsonia aculeata* L. ao corte e queima em área invadida no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 4, n. 3, p. 293-297, 2009.

FABRICANTE, J. R.; OLIVEIRA, M. N. A.; SIQUEIRA-FILHO, J. A. Aspectos da ecologia de *Calotropis procera* (Apocynaceae) em uma área de Caatinga alterada pelas obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco em Mauriti, CE. **Rodriguésia [online]**, v. 64, n. 3, pp. 647-654, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000300015>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000300015>. Acesso em: 09 dez. 2021.

FABRICANTE, J. R. *et al.* Atributos ecológicos da bioinvasora *Nicotiana glauca* Graham (Solanaceae) e avaliação da susceptibilidade de sua ocorrência no Brasil. **Ciência Florestal [online]**, v. 25, n. 4, p. 959-967, ISSN 1980-5098, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509820650>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/20650>. Acesso em: 10 mar. 2022.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 51-56, oct. 2018. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252018000400014&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400014&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 02 fev. 2023.

- FERREIRA, R. B. **Efeito da adição de nutrientes e água sobre a planta exótica invasora *Calotropis procera* em área campestre do Cerrado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP-FEIS), São Paulo, 32f., 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/216949>. Acesso em: 03 nov. 2022.
- FLORA DO BRASIL. 2023. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- GANEM, K. A. **Classificação da cobertura do solo na Caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta *Google Earth Engine*: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23501>. Acesso em: 09 set. 2022.
- GIBB, H. *et al.* Climate mediates the effects of disturbance on ant assemblage structure. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 8, 2015.
- GONÇALVES, G. S. *et al.* Estudo do banco de sementes do solo em uma área de caatinga invadida por *Parkinsonia aculeata* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 4, p. 428-436, 2011.
- GUIBAN, A.; EDWARDS, J. R.; T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological modelling**, v. 157, n. 2-3, p. 89-100, 2002.
- HAJIMA, T. *et al.* Description of the MIROC-ES2L Earth system model and evaluation of its climate–biogeochemical processes and feedbacks. **Geoscientific Model Developed**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-275>. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/13/2197/2020/>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- HAUSFATHER, Z. Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change. **Carbon Brief**. 2018. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>. Acesso em: 12 fev. 2022.
- HAUSFATHER, Z. CMIP6: A próxima geração de modelos climáticos explicada. **CarbonBrief**. 2019. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- HEARD, T.; BELL, K. Development of new biocontrol agents for *Parkinsonia*. Land e Water Australia project reference no. CEN12. Austrália. 2009. 33p.
- HIJMANS, R. J. *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005.
- HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. **Global Change Biology**, v. 12, p. 2272-2281,

2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>. Acesso em: 21 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2019. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Relatórios metodológicos. Rio de Janeiro, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. v. 45, 2019. 168 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomass/caatinga>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL (INSTITUTO HÓRUS). Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras. Florianópolis - SC. Disponível em: <http://bd.institutohorus.org.br>. Acesso em: 09 dez. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). 2022. **O Semiárido brasileiro**. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>. Acesso em: 04 fev. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007; [Parry, M.L. *et al.* (ed.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 900 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2018: MATTHEWS, J.B.R. Anexo I: Glossário. *In*: MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (ed.). **Aquecimento Global de 1,5°C. Um relatório especial do IPCC sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e as vias globais de emissão de gases de efeito estufa relacionadas, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça das mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável e esforços para erradicar a pobreza**. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562, DOI: [10.1017/9781009157940.008](https://doi.org/10.1017/9781009157940.008). Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/global-warming-of-15c/annex-i-glossary/34C9B03153C4E046925E057E94DFBCCD>. Acesso em: 15 fev. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2021: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (ed.)]. Cambridge University Press. In Press. Disponível em [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf). Acesso em: 15 fev. 2022.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). 2001. **Alien invasive species**. Report of workshop on alien invasive species. Global biodiversity Forum South and Southeast Asia Section, IUCN. Regional Biodiversity Programme, Ásia, Sri Lanka. 121 p.

KOIKE, F. *et al.* (ed.). Assessment and control of biological invasion risks. Switzerland: IUCN, 2006.

- LACERDA, F. F. *et al.* TENDÊNCIA DO CLIMA DO SEMIÁRIDO FRENTE ÀS PERSPECTIVAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS; O CASO DE ARARIPINA, PERNAMBUCO. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 31, p. 132-141, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v31i0.114843>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/114843>. Acesso em: 11 mai. 2023.
- LANNES, L. S. *et al.* Alien and endangered plants in the Brazilian Cerrado exhibit contrasting relationships with vegetation biomass and N: P stoichiometry. **New Phytologist**, v. 196, n. 3, p. 816-823, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04363.x>. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04363.x>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- LAWES, R. A.; GRICE, A. C. Controlling infestations of *Parkinsonia aculeata* L. in a riparian zone at the landscape scale. **Austral Ecology**, v. 32, n. 3, p. 287-293, 2007.
- LEAL, I. R. *et al.* Changing the Course of Biodiversity Conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005.
- LEÃO, T. C. C. *et al.* **Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil**: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas. Recife: CEPAN, 2011. 99 p.
- LIMA, P. C. F. Comportamento silvicultural de espécies de *Prosopis* em Petrolina-PE, região semi-árida brasileira. 1994. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Paraná Curitiba. 1994.
- LUGO, A. E. Estimating reductions in the diversity of tropical forest species. *In*: WILSON, E. O. (ed.). **Biodiversity**. National Academy Press, Washington, USA, 1988. p. 58-70.
- MACK, R. N. *et al.* Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. **Issues in Ecology**, v. 5, p. 1-20, 2000.
- MAGALHÃES, L. C. S.; FORSBERG, M. C. S. Espécies Exóticas Invasoras: caracterização e ameaças aos ecossistemas. **Scientia Amazonia**, v. 5, n. 1, p. 64-65, 2016.
- MAIA, J. M. *et al.* Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma Caatinga. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, p. 295-310, 2017.
- MARENCO, J. A. (org.). **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. 2. ed. Brasília: MMA. 2006. 212 p.
- MARENCO, J. A. *et al.* Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, 2007.
- MARENCO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-175, 2008.

MARENGO, J. A. *et al.* Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-011-1155-5>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, [S. l.], n. 103, p. 25-32, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99280>. Acesso em: 16 abr. 2023.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 14 jan. 2022.

MATOS, D. M. S.; PIVELLO, V. R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres: alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252009000100012&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252009000100012&lng=en&nrm=iso).

MEDEIROS, J. S. *et al.* Invasão biológica por *Cryptostegia madagascariensis*: uma abordagem voltada para estresses abióticos. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 2, n. 1, p. 36-47, 2018. ISSN 2526-8236 (Edição online).

MCFARLAND, K. P. *et al.* A Winter Distribution Model for Bicknell's Thrush (*Catharus bicknelli*), a Conservation Tool for a Threatened Migratory Songbird. 2013. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1: e53986. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053986>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0053986>. Acesso em: 16 abr. 2023.

MEDEIROS, W. J. F. **Impactos de fatores do solo e da competição com *Cryptostegia madagascariensis* sobre as respostas ecofisiológicas de plantas jovens e adultas de *Copernicia prunifera***. 2021. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2021.

MELO, M. M. *et al.* Estudo fitoquímico da *Calotropis procera* Ait., sua utilização na alimentação de caprinos: efeitos clínicos e bioquímicos séricos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 2, n. 1, p. 15-20, 2001.

MENDES, S. M. **Impacto das Mudanças Climáticas na Disponibilidade Hídrica no Bioma Caatinga**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/16621>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MENELAU, M. F. V. R. **Herbivoria, quantidade e qualidade de recursos em *Calotropis procera* (AIT.) R. BR. (Apocynaceae)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/590>. Acesso em: 25 jun. 2022.

MORAES, A. O. *et al.* Família Solanaceae nos "Inselbergues" do semi-árido da Bahia, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, v. 64, n. 2, p. 109-122, 2009.

MORO, M. F. *et al.* Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia?, **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n.4, p. 991-999, 2012.

NASCIMENTO, C. E. S. *et al.* Seed germination and early seedling survival of the invasive species *Prosopis juliflora* (Fabaceae) depend on habitat and seed dispersal mode in the Caatinga dry forest, 2020. **PeerJ** 8:e9607 DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.9607>. Disponível em: <https://peerj.com/articles/9607/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

NASCIMENTO, F. A. O. **Efeito das mudanças climáticas sobre padrões de diversidade de plantas da Caatinga**. 2021. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Recife, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/45779>. Acesso em: 15 jul. 2022.

NEE, M. "Solanaceae I. Flora de Vera Cruz", Inst. Nac. de Investigações sobre recursos bióticos, 1986.

NUNES, R. C. R. **Crescimento inicial da invasora *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. em diferentes substratos**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), Areia - PB, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/3910?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/3910?locale=pt_BR). Acesso em: 13 set. 2022.

OLIVEIRA, N. S. 2004. **Variabilidade genética em populações de *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae) pela metodologia de DAF (DNA Amplification Fingerprinting)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Genética) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6676>. Acesso em: 15 mar. 2022.

OLIVEIRA, M. T. *et al.* Stress Tolerance and Ecophysiological Ability of an Invader and a Native Species in a Seasonally Dry Tropical Forest. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8: e105514. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105514>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105514>. Acesso em: 04 abr. 2023.

OLIVEIRA, F. S. **É possível controlar em áreas urbanas a espécie invasora *Ricinus communis* L.?** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/39577>. Acesso em: 20 jan. 2023.

O'NEILL, B. C. *et al.* The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 9, p. 3461-3482, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/9/3461/2016/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

PALACIO, F. X.; GIRINI, J. M. As interações bióticas em modelos de distribuição de espécies melhoram o desempenho do modelo e lançam luz sobre a história natural de aves raras: um estudo de caso usando o caçador de junco (*Limnocites rectirostris*). **Journal of Avian**

**Biology**, v. 49, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jav.01743>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jav.01743>. Acesso em: 16 abr. 2023.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). 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 (RJ): COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

PASIECZNIK, N. M. *et al.* The *Prosopis juliflora* - *Prosopis pallida* complex: a monograph. Coventry: HDRA, 2001.

PEGADO, C. M. A. *et al.* 2006. Efeitos da invasão biológica de algaroba: *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 887-898, 2006. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-33062006000400013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062006000400013&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 18 mar. 2021.

PENNINGTON, R. T. *et al.* 2004. Historical climate change and speciation: neotropical seasonally dry forest plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification. **Philosophical Transactions: Biological Sciences**, v. 359, n. 1443, p. 515-538, 2004.

PETENON, D.; PIVELLO, V. R. Plantas invasoras: representatividade da pesquisa dos países tropicais no contexto mundial. **Natureza & Conservação**, v. 6, n.1, p. 65-195, 2008.

PETERSON, A. T. *et al.* Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, Princeton, 316p, 2011.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

PIVELLO, V. R. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. 2011. Disponível em: <http://www.ecologia.info/cerrado.htm>. Acesso em: 01 fev. 2023.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. S. (ed.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. cap. 1, p.3-74.

PYSEK, P. On the terminology used in plant invasion studies. *In*: PYSEK, P., PRACH, K., REJMANEK, M.; WADE, M (ed.). **Plant invasions: general aspects and special problems**. SPB, Amsterdam, p.71-81, 1995.

RAGONESE, A. E. Plantas toxicas para el ganado en la región central Argentina. **Revista de la Faculd de Agronomia**, v. 31, p. 133-336. 1955.

REJMANEK, M. *et al.* Ecology of invasive plants: state of the art. *In*: MOONEY, H. A. *et al.* (ed.), **Invasive Alien Species: A New Synthesis**. Island Press, Washington, DC, 2005, p. 104-162.

RIAHI, K. *et al.* The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42. p. 153-168. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>. Acesso em: 30 mar. 2021.

RIBASKI, J. *et al.* Algaroba (*Prosopis juliflora*): Árvore de Uso Múltiplo para a Região Semiárida Brasileiro. Colombo: Embrapa Florestas, 8 p., 2009.

RICARDO-JESUS, T. S. *et al.* *Ricinus communis* L. e sua importância socioeconômica. In: FERNANDEZ, L. G *et al.* (org.). ***Ricinus communis* L.:** sementes, envelhecimento e estresse oxidativo. Salvador: Editora Da Universidade Federal Da Bahia - Edfba. E-book (138 p.), 2021a. p. 15-22.

RICARDO-JESUS, T. S. *et al.* Sementes e qualidade fisiológica. In: FERNANDEZ, L. G *et al.* (org.). ***Ricinus communis* L.:** sementes, envelhecimento e estresse oxidativo. Salvador: Editora Da Universidade Federal Da Bahia - Edfba. E-book (138 p.), 2021b. p. 15-22.

ROMÃO, M. V. V.; MANSANO, V. F. *Parkinsonia in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB83555>. Acesso em: 16 abr. 2023.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do Bioma Caatinga. Características e potencialidades. p. 19-42. In: GARIGLIO, M.A. *et al.* (org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília - DR: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

SANZ-ELORZA, M.; DANA, E. D.; SOBRINO, E. Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España. Dirección General para la Biodiversidad, Madrid, Spain. 2004.

SANTOS, N. M. *et al.* Identificação dos serviços ecossistêmicos de provisão prestados pela Caatinga na microrregião do seridó ocidental, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 21, n. 2, p. 477-490, 2019, Disponível em: <http://uvanet.br/rcgs>. Acesso em: 13 mar. 2023.

SANTOS, A. S. **Distribuição preditiva atual e futura da espécie invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí - GO, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1666/1/Trabalho.de.conclus%C3%A3o\\_SA%20SANTOS%20A.S.pdf](https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1666/1/Trabalho.de.conclus%C3%A3o_SA%20SANTOS%20A.S.pdf). Acesso em: 14 fev. 2023.

SILVA, S. (ed.). **História da algarobeira no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 130 p.

SILVA, E. A. D; CARVALHO, S. M. I; BECERRA, J. A. B. Variabilidade sazonal do clima e da vegetação no bioma caatinga. I climatologia da precipitação. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO (GEONORDESTE), 4, 2011, Feira de Santana. **Anais [...]**. Feira de Santana, 2011.

SILVA, M. L. M. **Caracterização Biométrica de Frutos, Emergência e Vigor de Sementes de *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne., Espécie Invasora no Bioma Caatinga**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) –

Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), Areia - PB, 2013. Disponível em: [https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/706?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/706?locale=pt_BR). Acesso em: 18 fev. 2023.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. Cahm: Springer International Publishing, 2017.

SILVA, M. L. M. *et al.* ASPECTOS REPRODUTIVOS E POTENCIAL DE EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS DE *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1297-1309, 2017.

SILVA, G. V. *et al.* Avaliação de métodos pré-germinativos em sementes de turco (*Parkinsonia aculeata* L.). **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 1. p. 23-33, 2019a.

SILVA, J. L. S. *et al.* Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. **PLoS ONE**, v. 14, n.5: e0217028. 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217028>. Acesso em: 01 abr. 2021.

SILVA, E. B.; RAMOS, A. B. B. Levantamento florístico e dispersão de sementes em uma área degradada de caatinga hiperxerófila. In: EDITORA POISSON. (org.). **Semiárido Brasileiro - Volume 3**. Belo Horizonte, Editora Poisson, 2019. cap. 1, p. 7-22.

SOBRINHO, M. S. *et al.* Reproductive phenological pattern of *Calotropis procera* (Apocynaceae), an invasive species in Brazil: annual in native areas; continuous in invaded areas of caatinga. **Acta Botanica Brasilica [online]**, v. 27, n. 2, p. 456-459, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000200018>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000200018>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SOBRINHO, M. S. *et al.* Modelagem da Distribuição Potencial de *Mangifera indica* L. sob Cenários Climáticos Futuros no Bioma Caatinga. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, 2019, p. 351-358, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/qVrwBqp9mfcvddTBxVwYjPh/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 24 mar. 2023.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. G. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. 3. ed. W.H. Freeman and CO, New York, 1995. 887 p.

SOUSA, L. A. *et al.* Crescimento da fito invasora *Cryptostegia madagascariensis* submetida ao estresse salino. **CURRÍCULOS EXPANDIDOS DO I CONICBIO / II CONABIO / VI SIMCBIO**, v. 2, pp. 754-764, 2013. Disponível em <http://www.unicap.br/simcbio/wp-content/uploads/2014/09/Anais-CONICBIO-CONABIO-e-SIMCBIO-2013-Volume-1.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021.

SOUSA, F. Q.; ANDRADE, L. A.; XAVIER, K. R. F. *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne.: impactos sobre a regeneração natural em fragmentos de caatinga. **Agrária**, Recife, v. 11, n. 1, p.39-45, 2016.

SOUSA, F. Q. *et al.* Impactos da invasão por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. (Apocynaceae Juss.) Em remanescentes de caatinga no município de Ibaretama, Ceará. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1243-1255, 2017a.

SOUSA, F. Q. *et al.* Banco de sementes do solo de caatinga invadida por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 220-226, 2017b. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i2a5440>. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v12i2a5440>. Acesso em: 21 ago. 2022.

SOUZA, V. C. **Invasão biológica por *Sesbania virgata* (CAV.) PERS. na Paraíba, Brasil: biologia reprodutiva, ecofisiologia de sementes e estrutura populacional.** 2012. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012.

STEHMANN, J. R. *et al.* *Solanaceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB21155>. Acesso em: 08 fev. 2021.

TABATINGA-FILHO, G. M. **Fenologia, biologia reprodutiva e ecologia da polinização de *Calotropis procera* Ait. R. Br. (APOCYNACEAE-ASCLEPIADOIDEAE).** 2008. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/1025>. Acesso em: 09 mai. 2023.

TEIXEIRA, L. P. **Modelagem de nicho ambiental de espécies vegetais da Caatinga como ferramenta para avaliação dos impactos das mudanças climáticas e do progresso das ODS's 13 e 15 no bioma semiárido brasileiro.** 2022. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/68387>. Acesso em: 28 set. 2022.

THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M.B. Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 14, p. 347-357. 2005.

TROVÃO, D. M. B. M. *et al.* Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 307- 311, 2007.

VIEIRA, M. F. *et al.* Biologia reprodutiva de *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. (Periplocoideae, Apocynaceae), espécie ornamental e exótica no Brasil. **Bragantia [online]**, v. 63, n. 3, p. 325-334, 2004. ISSN 1678-4499. DOI: [10.1590/S0006-87052004000300002](https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000300002). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000300002>. Acesso em: 12 set. 2022.

VIGILATO, G. R.; ZAMPAR, R. Suscetibilidade das zonas de recuperação de uma unidade de conservação à invasão biológica por espécies arbóreas exóticas. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 6, n.3, p. 25-37, 2011.

VIGNOLI-SILVA, M.; MENTZ, L. A. O gênero *Nicotiana* L. (Solanaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia. Série Botânica*, Porto Alegre, v. 60, n. 2, p. 151-173, 2005.

WALLIS, K. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany [online]**, v. 34, n. 3, p. 431-446, 2011. DOI: [10.1590/S0100-84042011000300016](https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300016). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300016>. Acesso em: 02 abr. 2022.

ZILLER, S. R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. **Revista Ciência Hoje**, v. 30, n. 178, p. 77-79, 2001.

ZILLER, S. R.; GALVÃO, F. A. A degradação da Estepe Gramíneo-Lenhosa no Paraná por contaminação biológica de *Pinus elliottii* e *P. taeda*. **Revista Floresta**, v. 32, n. 1, p. 41-47, 2003.

ZILLER, S. R. Espécies exóticas da flora invasoras em Unidades de Conservação. *In*: CAMPOS, J. B.; TOSSULINO, M. G. P.; MÜLLER, C. R. C. (org.). **Unidades de conservação: Ações para valorização da biodiversidade**. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 2006. p. 34-52.

ZWIENER, V. P. *et al.* Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. **Global Ecol. Biogeogr.**, v. 27, p. 298-309, 2017.

## APÊNDICES

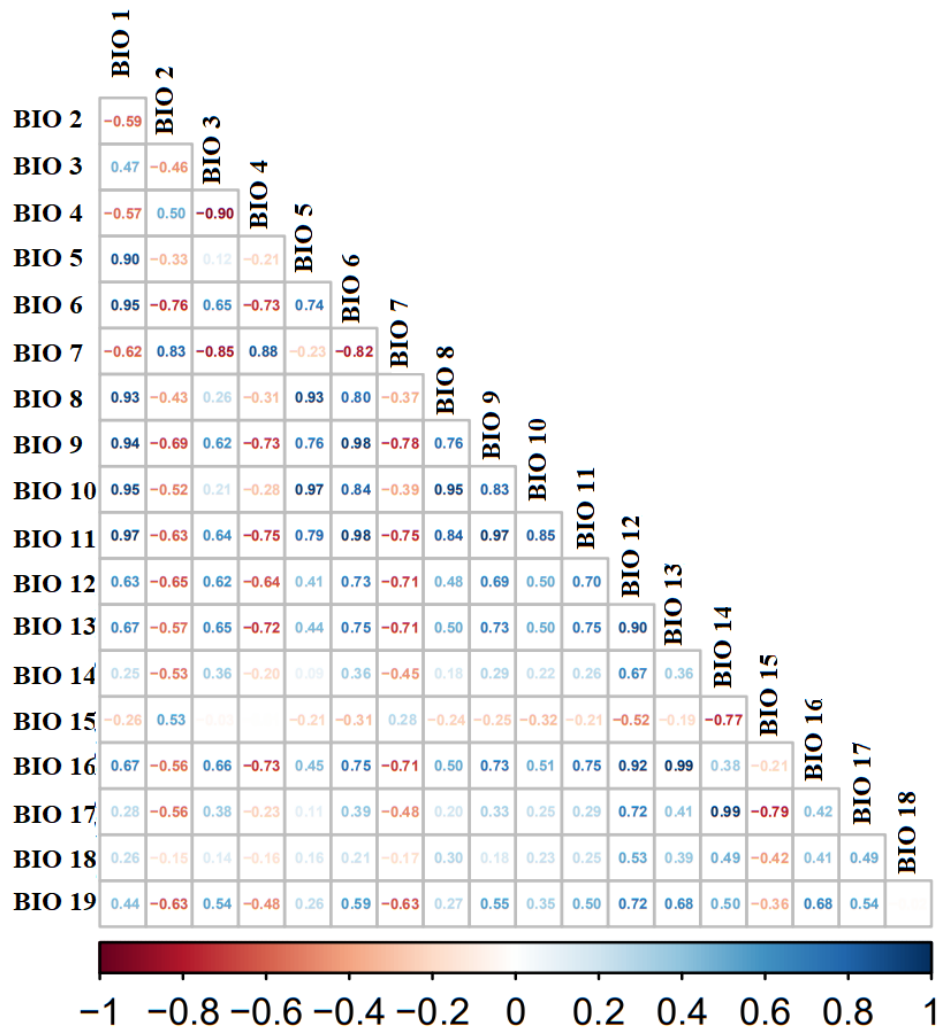
### APÊNDICE A – Variáveis bioclimáticas disponíveis na plataforma *WorldClim 2.1*

**Tabela.** Sigla, nome e unidade de medida das variáveis bioclimáticas (19) disponibilizadas pela plataforma *WorldClim 2.1*.

Sigla	Variáveis climáticas	Unidade
BIO1	Temperatura média anual	°C
BIO2	Amplitude diurna média mensal (temp. máxima – temp. mínima)	°C
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) ( $\times 100$ )	°C
BIO4	Sazonalidade da temperatura = (desvio padrão $\times 100$ )	°C
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	°C
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	°C
BIO7	Amplitude de temperatura anual (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	°C
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	°C
BIO12	Precipitação anual	mm
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	mm
BIO14	Precipitação do mês mais seco	mm
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)	mm
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido	mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente	mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	mm

## APÊNDICE B – Correlação entre as variáveis bioclimáticas do presente

Figura – Correlação entre as variáveis bioclimáticas para o modelo no presente. Quadrados de coloração vermelho-escuro indicam alta correlação negativa entre as variáveis bioclimáticas, enquanto as de azul-escuro indicam alta correlação positiva entre as mesmas. Cada linha e coluna contendo os nomes de cada variável.



Fonte: O Autor (2023).

APÊNDICE C – Valores médios dos *pixels* de distribuição potencial das espécies de plantas invasoras na Caatinga em cenários futuros.

**Tabela.** Distribuição média dos *pixels* nos cenários atual, futuro otimista (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5), para cada planta exótica invasora na Caatinga.

	Atual	Futuro otimista	Futuro pessimista
<i>Calotropis procera</i>	0,694650673	0,525415881	0,401885336
<i>Cryptostegia madagascariensis</i>	0,240913538	0,214054449	0,191679654
<i>Nicotiana glauca</i>	0,292138265	0,150267825	0,059346738
<i>Parkinsonia aculeata</i>	0,487095741	0,365320722	0,253157276
<i>Prosopis juliflora</i>	0,320750652	0,219397885	0,1910908
<i>Ricinus communis</i>	0,4863135115	0,366414881	0,283680468