



**UFRPE**

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

**VITÓRIA RÉGIA DO AMARAL RODRIGUES**

**O papel de traços funcionais na resposta de espécies arbóreas da Caatinga às mudanças  
climáticas**

**Serra Talhada - PE**

**2022**

**VITÓRIA RÉGIA DO AMARAL RODRIGUES**

**O papel de traços funcionais na resposta de espécies arbóreas da Caatinga às mudanças climáticas**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharela em Ciências Biológicas.

**Serra Talhada - PE**

**2022**

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)

---

R696p do Amaral Rodrigues, Vitória Régia

O papel de traços funcionais na resposta de espécies arbóreas da Caatinga às mudanças climáticas / Vitória Régia do Amaral Rodrigues. - 2022.  
41 f. : il.

Orientador: Edgar Alberto do Espírito Santo Silva.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2022.

1. Mudança climática. 2. Modelagem de distribuição. 3. Traços funcionais. I. Silva, Edgar Alberto do Espírito Santo, orient. II. Título

---

## VITÓRIA RÉGIA DO AMARAL RODRIGUES

### **O papel de traços funcionais na resposta de espécies arbóreas da Caatinga às mudanças climáticas**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharela em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 07 de Outubro de 2022

#### **COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

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

---

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

---

Prof. Dr. Helder Farias Pereira de Araújo (Titular Externo) - UFPB

## **AGRADECIMENTOS**

À Oşun, Şàngó e Oya, pela força, coragem, persistência e amor dado a mim desde sempre. Por serem os pilares que me sustentam em pé e me fazem seguir um dia após o outro. Por me abraçar e me acalmar nos meus momentos de dificuldade, fragilidade e desespero. Sem eles eu nada seria.

Ao Programa de Ensino Tutorial (PET), pelo consentimento da bolsa que possibilitou a realização da minha pesquisa. Em especial ao PET Biologia UAST/UFRPE por tantos ensinamentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgar Silva, pela chance de desenvolver este trabalho e pela paciência comigo em meus momentos de desespero. Por todos os ensinamentos, por todas as trocas, por me ajudar a pensar de forma científica e me dá suporte para aprender a ser uma cientista.

A minha família e amigos por me apoiarem todos esses anos que não têm sido nada fáceis. Pelo suporte e força que me dão, Girlanne Medeiros, Jeferson Moura, Jully Brito e, em especial a Daniel Lucena por meu suporte nessa reta final e acreditar em mim. Sem essas pessoas, que me proporcionam tanto amor e tem tanta paciência, eu não conseguiria. E, mais importante, a minha mãe, Maria Angela do Amaral, pela dedicação, incentivo e força admirável, por ser meu exemplo para tudo.

A todos que fizeram parte dessa trajetória, que torceram, me incentivaram, e acreditaram em mim, vocês terão minha eterna gratidão.

## RESUMO

Estudos demonstram que haverá aumento na temperatura global. Ambientes secos podem se tornar ainda mais áridos. Evidências indicam que a Caatinga é bastante modificada pelas ações antrópicas e pouco protegida. Atributos como a área foliar, densidade de madeira e altura potencial estão ligados a uso de recursos pelas plantas, dessa maneira podem ser usados para melhor projeção de distribuição potencial das mesmas. Foi hipotetizado que, com aumento da aridez, plantas com menor área foliar, maior densidade de madeira e menor altura potencial seriam mais favorecidas em cenários futuros. Analisamos três cenários climáticos, sendo um atual e dois futuros para 2081-2100, para simular a resposta dos traços funcionais aos efeitos das mudanças climáticas quanto a distribuição de 90 espécies arbóreas. Usamos o modelo climático MIROC-ES2L para cenários otimista (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5) de níveis de emissão de gases de efeito estufa (GEE), com resolução de 2,5 minutos (~ 21,4 km<sup>2</sup>). Os resultados indicam que plantas com maiores áreas foliares apresentarão menor redução de área dentro da Caatinga. Entretanto, a densidade de madeira e altura potencial não foram bem correlacionadas com o modelo. A partir das análises podemos inferir que a área foliar pode ser usada como atributo funcional capaz de prever e explicar a distribuição potencial das espécies arbóreas na Caatinga brasileira. A Caatinga pode apresentar perda de habitat adequado para ocorrências das espécies, sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis de uso dos recursos naturais, bem como criação de áreas de proteção ambiental.

Palavras-chave: Mudança climática, Modelagem de distribuição, traços funcionais.

## ABSTRACT

Studies show that there will be an increase in global temperature. Dry environments can become even more arid. Evidences indicate that the Caatinga is highly modified by human actions and poorly protected. Attributes such as leaf area, wood density and potential height are linked to resource use by plants, in this way they can be used to better project their potential distribution. It was hypothesized that, with increasing aridity, plants with smaller leaf area, higher wood density and lower potential height would be more favored in future scenarios. We analyzed three climate scenarios, one current and two future for 2081-2100, to simulate the response of functional traits to the effects of climate change regarding the distribution of 90 tree species. We used the MIROC-ES2L climate model for optimistic (SSP2-4.5) and pessimistic (SSP5-8.5) scenarios of greenhouse gas (GHG) emission levels, with a resolution of 2.5 minutes ( $\sim 21.4 \text{ km}^2$ ). The results indicate that plants with larger leaf areas will show less area reduction within the Caatinga. However, wood density and potential height were not well correlated with the model. From the analysis we can infer that leaf area can be used as a functional attribute capable of predicting and explaining the potential distribution of tree species in the Brazilian Caatinga. The Caatinga may present a loss of adequate habitat for occurrences of the species, therefore, it is necessary to develop more sustainable practices for the use of natural resources, as well as the creation of areas of environmental protection.

Keywords: Climate change, Distribution modeling, functional traits.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Mapa dos Domínios Fitogeográficos do Brasil.....	15
<b>Figura 2</b>	Correlação entre as variáveis bioclimáticas do presente (A), do futuro otimista (SSP2-4.5; B) e futuro pessimista (SSP5-8.5; C). 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 contém os nomes de cada variável.....	18
<b>Figura 3</b>	Gráficos de distribuição potencial da diferença entre o $\Delta$ futuro otimista–presente (esquerda) e $\Delta$ futuro pessimista–presente (direita) dos atributos funcionais.....	21
<b>Figura 4</b>	Mapas de distribuição potencial com a média ponderada dos atributos funcionais das espécies vegetais. A.P. = Altura Potencial; D.M. = Densidade de Madeira; A.F. = Área Foliar. Mapas de distribuição potencial de ocorrência das espécies na Caatinga no presente (Atual) e em dois cenários futuros, otimista (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5), de mudanças climáticas.....	24

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Correlações entre os atributos funcionais e o delta ( $\Delta$ ) da variação de ambos futuros (otimista: SSP2-4.5; pessimista: SSP5-8.5) e o cenário atual (presente). Valores em negritos representam correlações dignificativas ( $P < 0,05$ ).....	22
<b>Tabela 2</b>	Correlação entre cada variável bioclimática selecionada para o estudo e a diferença do cenário atual (presente) e o futuro mais otimista (SSP2-4.5). Todas as correlações foram significativas ( $P < 0,05$ ).....	25
<b>Tabela 3</b>	Correlação entre cada variável bioclimática selecionada para o estudo e a diferença do cenário atual (presente) e o futuro mais otimista (SSP5-8.5). Todas as correlações foram significativas ( $P < 0,05$ ). Coef = Coeficiente.....	26

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	7
2	Referencial teórico.....	9
2.1	Mudanças climáticas e suas consequências em florestas tropicais.....	9
2.2	Respostas funcionais em comunidades de plantas na Caatinga.....	11
3	Metodologia.....	14
3.1	Área de estudo.....	14
3.2	Seleção das espécies arbustivas-arbóreas.....	15
3.3	Variáveis bioclimáticas.....	16
3.4	Modelo de distribuição .....	19
3.5	Análise de dados.....	20
4	Resultados.....	20
5	Discussão.....	27
6	Conclusão.....	29
	Referências .....	30

## 1. Introdução

Modelos climáticos preveem um aumento futuro da temperatura e dos eventos de desequilíbrio hidrológico global (IPCC 2013; IPCC 2014). Previsões indicam aumento de, em média, 2°C na temperatura global nas próximas décadas (WANG et al., 2010). Sugerindo uma constância dos intervalos de estiagens mais intensas e com maior frequência para regiões mais secas, podendo gerar uma maior tendência à aridez (MARENGO et al., 2017). Essas mudanças climáticas têm grande impacto sobre ambientes naturais e sobre aspectos econômicos (EBELE e EMODI, 2016). Para a região sul americana é previsto que savanas substituirão áreas de floresta tropical e, áreas do nordeste brasileiro podem tornar-se ambientes semidesérticos (OYAMA, M. D., et al., 2003).

A Caatinga brasileira, formada por um composto de Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) e vegetação arbustiva (LEAL et al., 2005), é a maior em área e em diversidade da região neotropical (WERNECK e COLLI, 2006). Apresenta cerca de 3347 espécies de plantas, das quais 298 são endêmicas (MORO et al., 2016). Estudos realizados projetam um aumento de até 4,5°C para este domínio fitogeográfico e queda de até 50% nos níveis de precipitação até o final do século atual (BRASIL, 2016). Projeções sobre a flora da Caatinga indicam uma substituição da vegetação atual por uma flora com características ainda mais voltadas a ambientes mais secos e áridos, com conjuntos de estratégias que garantam maior tolerância ao déficit hídrico (MARENGO, 2009).

Sendo este um ecossistema altamente modificado, prever-se que as mudanças climáticas que vêm ocorrendo afetarão esta região de forma grave (RODRIGUES TORRES et al., 2017). Estudos indicam que aproximadamente 94% desse ecossistema possui um risco de desertificação em razão do alto nível de vulnerabilidade, além disso, é altamente ameaçada pela pressão antrópica (MARTORELL; PETERS, 2009. HIROTA et al., 2011), interferindo no padrão de chuvas e gerando maiores níveis de aridez, dificultando a sobrevivência da biota atual (RODRIGUES TORRES et al., 2017).

As mudanças climáticas não afetam todas as espécies vegetais da mesma forma (ALEXANDER et al., 2015). Uma possível resposta das plantas é deslocar sua área de ocorrência em busca de condições mais favoráveis (GARCÍA MOLINOS et al., 2016). Mudanças no clima geram modificações consideráveis na pressão seletiva das populações vegetais (SOLARIK et al., 2018). A presença de uma espécie em um determinado ambiente

depende do conjunto de traços funcionais que estão melhor adaptados e são mais resistentes às características climáticas da área que está inserida (WESTOBY; WRIGHT, 2006). Dessa maneira, mudanças rápidas no clima podem causar diferença na biodiversidade, na faixa de distribuição da flora e na dinâmica de interação ecológica (OYAMA; NOBRE, 2003, SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017). E, até mesmo, causar redução no tamanho populacional das espécies (THOMAS et al., 2004).

Atributos funcionais podem ser bons indicadores de estratégias relacionadas à eficiência hídrica das plantas (SWENSON; ENQUIST, 2007; SWENSON et al. 2012). O tamanho foliar pode estar relacionado à disponibilidade hídrica do ambiente (WRIGHT et al., 2004). Grandes áreas foliares geralmente estão associadas a ambientes com maior disponibilidade de água (CARLUCCI et al., 2015). A densidade de madeira está relacionada à condução e armazenamento de água (BUCCI et al., 2004). Plantas com maior densidade de madeira geralmente conservam mais água (CORNELISSEN et al. 2003). Alguns estudos indicam que plantas que apresentam maiores alturas podem permanecer no ambiente, mesmo após grandes mudanças, pois apresentam raízes mais longas, acessando melhor recursos subterrâneos (VALVERDE-BARRANTES et al., 2017). Entretanto, associam grandes alturas potenciais a uma maior suscetibilidade à cavitação dos vasos (STOVALL et al., 2019). Plantas altas investem muita água para seu crescimento (STOVALL et al., 2019). Maior altura potencial seria associada a maiores vulnerabilidades (MOLES et al., 2009).

A literatura indica que padrões estratégicos foram observados, tais como diminuição da área foliar (SILVA et al., 2019), aumento da densidade de madeira (WRIGHT et al., 2017) e redução da altura potencial (MARENCO, 2009) em decorrência da menor disponibilidade hídrica e aumento de temperatura (SILVA et al., 2019). O crescimento do acervo dos bancos de dados globais sobre características das plantas possibilitou estudos em todo o mundo acerca da relação entre variações das características funcionais das espécies e o macroclima (WRIGHT et al., 2017). Com isso, estudos sobre atributos funcionais e diferentes estratégias ecológicas têm sido usadas para tentar explicar e prever diferentes padrões de distribuição de espécies (MUSCARELLA & URIARTE, 2016; PINHO et al. 2018; WRIGHT et al., 2004) para o futuro das mudanças climáticas (SILVA et al., 2019). Estes são de efetiva necessidade para manutenção dos planos de manejo e conservação dos recursos naturais da Caatinga, ainda mais sendo esta uma das FTSS com maior população humana (ANDRADE, 2016).

Em ambientes semiáridos, o maior fator limitante é a disponibilidade hídrica, com isso, uma boa segurança hidráulica gera maior resistência das plantas ao aumento da aridez (CARVALHO, 2021). O presente estudo teve por objetivo entender as consequências na distribuição potencial de plantas nativas da Caatinga. Utilizando-se da análise de como traços funcionais influenciam nas respostas das espécies arbóreas da Caatinga às mudanças climáticas. Tendo em vista as projeções de aumento na aridez e temperatura na Caatinga (MARENGO et al., 2017), avaliamos a hipótese que a comunidade arbórea em cenários futuros tende a ser composta predominantemente por espécies que apresentem características de menor gasto de recursos. Dessa forma, realizamos modelagens de distribuição potencial de 90 espécies arbóreas no cenário atual e em cenários futuros e esperamos que: (1) espécies arbóreas com grande área foliar, maior altura e menor densidade de madeira tendem a apresentar maior redução em sua área de distribuição potencial no futuro quando comparado ao período atual; (2) comunidades arbóreas apresentarão maior redução nos valores médios desses traços em locais que irão apresentar maior aumento na temperatura e redução na precipitação

## **2. Referencial teórico**

### **2.1. Mudanças climáticas e suas consequências em florestas tropicais**

Tendo em vista a não plasticidade das espécies em conseguir se dispersar para áreas mais favoráveis na velocidade dos distúrbios ambientais provenientes da intensificação severa das mudanças climáticas, como consequência disso, é esperada uma perda generalizada da diversidade vegetal em grande escala (BUSSOTTI et al., 2015). Essa afirmação baseia-se nas evidências encontradas sobre os climas futuros, onde pode-se dizer que estes serão propícios à menor diversidade vegetal que os atuais (HARISSON, 2020). Com isso, é esperado uma perda drástica da biodiversidade em regiões mais áridas que apresentam, como fator limitante o déficit hídrico (SOMMER et al., 2010).

As FTSS são comumente alvo de perturbação antrópica por serem de fáceis acessos. Recursos florestais como lenha são usados em grande escala pelas populações que vivem nelas, bem como são bastante usadas para criação de animais devido a vegetação baixa e espessa desses domínios (MURPHY; LUGO, 1986). Essas características tornam as FTSS preferíveis ao estabelecimento de populações humanas (RIBEIRO et al., 2015). A Caatinga abriga cerca de 27 milhões de pessoas (IBGE, 2022). Os altos níveis de impacto antrópico, tornam estas florestas umas das mais ameaçadas no mundo, necessitando da implementação

de políticas de conservação e modelos de desenvolvimento sustentável (MILES et al., 2006). E, apesar de pouco estudada (RIBEIRO et al., 2015), a Caatinga apresenta altos níveis de endemismo, o que ressalta a importância da sua conservação e relevância para a sociedade (LEAL et al., 2005), ainda mais frente às mudanças climáticas e altos níveis de impactos antrópicos.

Algumas das coisas que mais caracterizam as mudanças climáticas são o aumento na temperatura e mudanças nos regimes de precipitação, que podem ser mais variáveis e extremos (SMITH, S. J., et al., 2015). As mudanças climáticas afetam todos os ambientes em escala global, mas alguns ecossistemas são mais severamente afetados. Previsões indicam que haverá aumento na temperatura do planeta e, regiões tropicais se encontram entre as regiões a serem mais afetadas (IPCC, 2013; MARENGO et al., 2017). Projeções climáticas demonstram que mudanças consideráveis podem ocorrer no clima do Brasil durante o século XXI (MAGRIN et al. 2014). Entre os domínios fitogeográfico do país, a Caatinga, que já apresenta sazonalidade hídrica, altas temperaturas e altos níveis de aridez (SILVA et al., 2019), com o advento das rápidas mudanças climáticas, pode torna-se mais suscetível a estes efeitos, principalmente em seu ciclo de chuva, podendo gerar estresses hídricos de seca mais intensos (GREENWOOD et al., 2017; SILVA et al., 2019).

A literatura indica que os efeitos das perturbações hídricas podem servir como força norteadora para a organização das comunidades vegetais (CHESSON et al. 2004; RITO et al. 2016). Mudanças nas condições ambientais podem gerar modificações nas áreas geográficas de muitas espécies (BIGLER e BUGMANN, 2018). A capacidade de sobreviver sob grandes níveis de estresse hídrico requer um conjunto de adaptações especializadas, o que gera uma seleção restrita de um subconjunto de espécies (HARRISON, 2020). Para tanto, a ordem em que as espécies desaparecerão ou irão migrar pode ser mais bem prevista por características relacionadas à resistência à seca e tolerância a déficit hídrico (HARRISON, 2020).

No futuro, com o aumento previsto da temperatura, bem como o aumento na frequência de eventos climáticos extremos, as espécies precisarão apresentar uma plasticidade alta que possibilite uma maior tolerância a esses eventos sem perda de sucesso (PEÑUELAS et al., 2001). A mortalidade vegetal nas florestas sofrerá um provável aumento em decorrência de um clima mais seco, onde as plantas menores provavelmente sobreviverão e ecossistemas florestais serão, aos poucos, substituídos por arbustos mais curtos (PARK WILLIAMS et al., 2013).

Para melhor entender e desenvolver estudos acerca das consequências na distribuição espacial das espécies em um futuro de mudanças climáticas, é necessário adicionar abordagens baseadas em traços funcionais (WRIGHT et al., 2004). A partir disso, pode-se dizer que observou-se alguns padrões importantes, como tendência a redução do tamanho da folha como estratégia adaptativa a menor perda de água por evapotranspiração (SILVA et al., 2019). Aumento na densidade de madeira (WRIGHT et al. 2017) ocorrendo em locais quentes em latitudes mais baixas (SWENSON et al. 2012). Bem como, redução na altura potencial das plantas em resposta a menor disponibilidade hídrica (MARENGO, 2009). Sendo assim, esses traços tornam-se bons preditores de condução, armazenamento e disponibilidade hídrica (SWENSON; ENQUIST, 2007).

## **2.2. Respostas funcionais em comunidades de plantas na Caatinga**

Atributos funcionais das plantas ligados à conservação de água permitem descrever a tolerância das mesmas à perturbações ambientais como as rápidas mudanças climáticas (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. 2013). Por exemplo, as folhas das plantas podem apresentar respostas à variação na disponibilidade e condução hídrica (WRIGHT et al., 2004). Com isso, estudos indicam que plantas com maior área foliar são mais frequentes em ambientes com menos restrições como florestas úmidas (CARLUCCI et al., 2015). Por outro lado, plantas que apresentam menores áreas foliares são mais adaptadas a ambientes mais restritivos, como regiões mais áridas, que têm maior restrição hídrica (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Atributos como a densidade da madeira, apesar de apresentarem menor plasticidade, são ótimos preditores de acúmulo de carbono e de condução e armazenamento de água na planta (BUCCI et al., 2004).

A interação entre os traços funcionais das plantas gera diferentes respostas, o que define sua distribuição e abundância em diferentes contextos e ambientes (FINE et al., 2004). Esses traços funcionais têm influência sobre as propriedades hidráulicas das plantas e possuem relações com a expectativa de sobrevivência de espécies lenhosas frente às mudanças climáticas (CROUS; MALAN; WINGFIELD, 2016). Plantas de FTSS gerenciam um trade-off entre eficiência e segurança hidráulica (JANSSEN et al., 2020). Características da madeira e das folhas de espécies lenhosas do semiárido podem apresentar diferentes propriedades de resistência à seca (FU et al., 2019). Grande área foliar e alta densidade de madeira, por exemplo, estão relacionadas a estratégias de rápido ganho de recursos e longa vida (CHAVE et al., 2009).

Atributos funcionais estão relacionados às respostas de espécies às mudanças ambientais (GRIME; PIERC, 2012). Fatores ambientais limitantes, tal como escassez de água, podem agir de modo a selecionar espécies que apresentem estratégias fisiológicas relacionadas ao conservadorismo econômico (WRIGHT et al., 2004). A literatura indica que menores áreas foliares são relacionadas a ambientes com maior irradiação solar e com menor disponibilidade de água no solo (ARAÚJO, 2017). O aumento da área foliar está relacionado a pouca disponibilidade de luz e gera maior perda de água por evapotranspiração e maior custo para produção (ACKERLY et al., 2012). Bem como, estudos sugerem um aumento diretamente proporcional entre densidade de madeira e o aumento da temperatura e escassez de água em decorrência das mudanças climáticas (MOLES et al. 2018). Logo, são atributos funcionais que podem ser usados para análise da resposta da planta à perturbações ambientais (CORNELISSEN et al. 2003; CARVALHO, 2021).

Diferentes adaptações filogenéticas resultam em diferentes respostas aos estresses ambientais e, em determinadas regiões, é observado uma frequência de estratégias com respostas mais favoráveis às condições ambientais (CHAVE et al. 2003). A densidade de madeira, influenciada diretamente pelo xilema, é de grande importância para o transporte hídrico da planta (MEINZER, 2003) e suas características podem gerar diferentes respostas e adaptações ao estresse hídrico de seca (SOUZA et al., 2015; VIEIRA; LISI, 2019).

A classificação da densidade de madeira, segundo Borchert (1994), indica Baixa Densidade de Madeira (BDM) como aquelas que apresentam densidade inferior a  $0,5 \text{ g.cm}^{-3}$ , enquanto que Alta Densidade de Madeira (ADM) sua densidade é  $\geq 0,5 \text{ g.cm}^{-3}$ . Espécies vegetais que apresentam BDM são mais susceptíveis à ruptura dos vasos xilemáticos, ou seja, mais vulneráveis à cavitação (CHAVE et al., 2009). A baixa densidade de madeira proporciona maior velocidade de bombeamento de água (SILVA, 2012), com isso, essas espécies conseguem armazenar grandes quantidades de água na madeira e exibem alta condutividade hidráulica (BUCCI et al., 2008). A densidade de madeira é inversamente proporcional à capacidade de armazenamento de água no caule, logo, plantas com BDM acumulam um maior volume de água (BORCHERT, RIVERA, e HAGNAUER, 2002), entretanto, apresentam limitações na manutenção dos vasos do xilema (SILVA, 2012). Essas estratégias são características de ambientes com alto teor hídrico (BORCHERT, 1994).

Em contrapartida, ADM possui resistência à cavitação, ou seja, pode prevenir falhas hidráulicas sob baixa umidade do solo (HACKE et al. 2001), mas apresenta menor capacidade de armazenamento de água (MEINZER, 2008) e mantém boa capacidade de condução de água em condições de estresse hídrico (BERTOLLI; SOUZA; SOUZA, 2015;

FU et al., 2019). Ademais, madeiras densas apresentam maior resistência a falhas hidráulicas como embolia e implosão ou ruptura dos vasos do xilema (SILVA, 2012), assim, tornam-se menos vulneráveis à cavitação dos vasos (HACKE e SPERRY, 2001).

Plantas com ADM são relacionadas a ambientes com baixa disponibilidade de recursos, já espécies que apresentam BDM, são tipicamente encontradas onde o limite ambiental é menor, já que necessitam de mais recursos (ARAUJO, 2017). Logo, quando há correlação entre densidade de madeira e estresse hídrico, plantas com ADM são mais resistentes a baixos níveis de disponibilidade hídrica (ACKERLY, 2004). E, espécies com ADM investem uma maior quantidade de carbono por volume, o que gera maior resistência a riscos ambientais (CHAVES et al., 2009).

Árvores de florestas secas e tropicais naturalmente são menores que as encontradas em florestas tropicais úmidas devido à baixa precipitação e alta taxa de evapotranspiração (PENNINGTON et al., 2018). A Caatinga é afetada por conturbações antrópicas desde a época colonial, com isso, espécies vegetais com maior altura foram selecionadas e exploradas até então (DÍAZ et al., 2007). Espécies de plantas arbóreas que apresentam maior altura potencial tendem a ter maior acesso à luz e aos recursos subterrâneos (BRUM et al. 2019) e esta altura máxima geralmente é menor quando a planta está sob estresse ambiental como falta de água e temperaturas mais sazonais (MOLES et al. 2009).

Logo, a altura potencial de uma espécie vegetal pode ser usada como indicador de respostas adaptativas às mudanças climáticas (CARVALHO, 2021). Com isso, o aumento da sazonalidade da temperatura e da precipitação pode reduzir ainda mais a dominância de espécies capazes de atingir grandes alturas (PINHO, 2019). Podendo gerar potencial substituição da dominância florestal por espécies de menor tamanho (SILVA et al., 2019), uma vez que a altura máxima da planta apresenta uma relação positiva com disponibilidade hídrica e temperatura (MOLES et al., 2009).

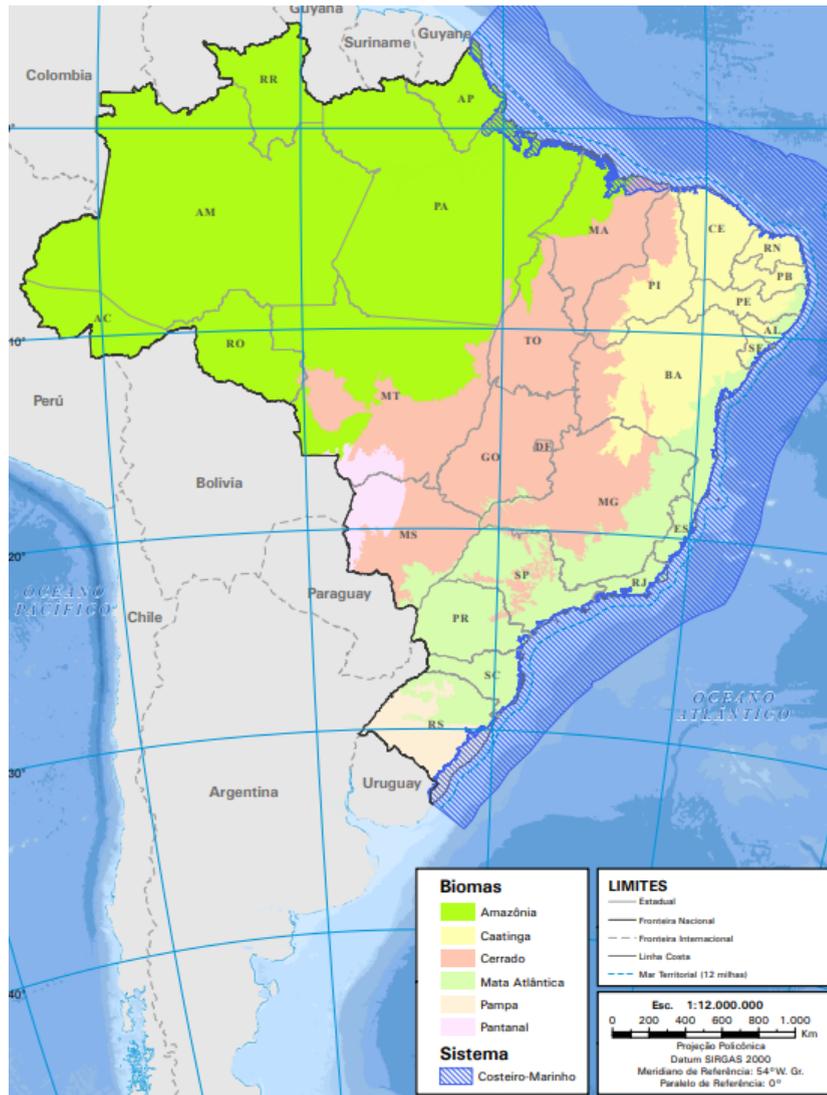
O papel da altura potencial das plantas não está bem evidenciado quanto a sua influência na distribuição potencial das mesmas (CARVALHO et al., 2021). Levando em consideração que plantas altas geralmente possuem menor segurança hidráulica, pois possuem vasos condutores mais longos e ficam mais sujeitas à cavitação, em um futuro que não haja áreas com clima adequado para estes organismos, estes tendem a desaparecer (OLSON et al., 2018). Como consequência dos eventos extremos previstos para o futuro, espera-se que espécies arbóreas de maior altura sejam mais vulneráveis (MOLES et al.,

2009). Com isso, plantas que apresentem maior segurança hidráulica, ou seja, menor área foliar, maior densidade de madeira (CARVALHO, 2021) e menor altura potencial (MOLES et al., 2009), devem ser menos afetadas pelo aumento da aridez (CARVALHO, 2021), previsto para a região semiárida brasileira (SILVA et al., 2019).

### **3. Metodologia**

#### **3.1. Área do estudo**

O estudo foi realizado no Semiárido brasileiro, dentro dos limites da Caatinga (Figura 1), que está localizada entre as latitudes 3° S e 17° S e as longitudes 35° O e 45° O. O Domínio Fitogeográfico da Caatinga é uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS), onde sua vegetação é considerada única no Brasil e é caracterizada por um mosaico de vegetação xerófitas e representa uma das maiores regiões semiáridas da América do Sul, estendendo-se por aproximadamente 800.000 km<sup>2</sup> (MORO et al., 2016). A Caatinga está localizada no nordeste do Brasil, fazendo fronteira a leste com o domínio da Mata Atlântica e a sul e a oeste com o Cerrado (Figura 1). É formada por diversas formações fitogeográficas, graças às diferentes distribuições de precipitação, juntamente a elevadas temperaturas e diferentes solos (MORO et al., 2014), onde pode ser observado desde áreas abertas até áreas compostas com abundâncias de espécies arbóreas (GRAEFF, 2015). O clima da Caatinga é seco e quente, apresentando altas temperaturas que variam em torno de 26°C, gerando elevados níveis de evapotranspiração (1.500 e 2.000 mm. ano<sup>-1</sup>) e irregularidade pluviométrica, que variam entre 500 e 750 mm.ano<sup>-1</sup>, que resulta em déficit hídrico (SAMPAIO, 1995).



**Figura 1** - Mapa dos Domínios Fitogeográficos do Brasil  
 Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE; <http://www.ibge.gov.br/>)

### 3.2. Seleção das espécies arbustivas-arbóreas

Uma lista de espécies arbóreas da Caatinga foi inicialmente gerada por meio do site Flora do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Posteriormente, foi gerada uma tabela com dados das características funcionais que estão sendo levadas em consideração neste estudo: (1) área foliar, (2) densidade de madeira e (3) altura potencial. Os dados de altura potencial foram obtidos através da base de dados *Neotrop Tree*, enquanto os dados de densidade de madeira foram encontrados através da base de dados *GlobalWoodDensityDatabase.xls* (MOLES et al. 2009). Os dados de área foliar foram calculados por meio do Software *ImageJ* a partir de imagens de exsicatas virtuais com escala de tamanho, obtidas no site da Flora do

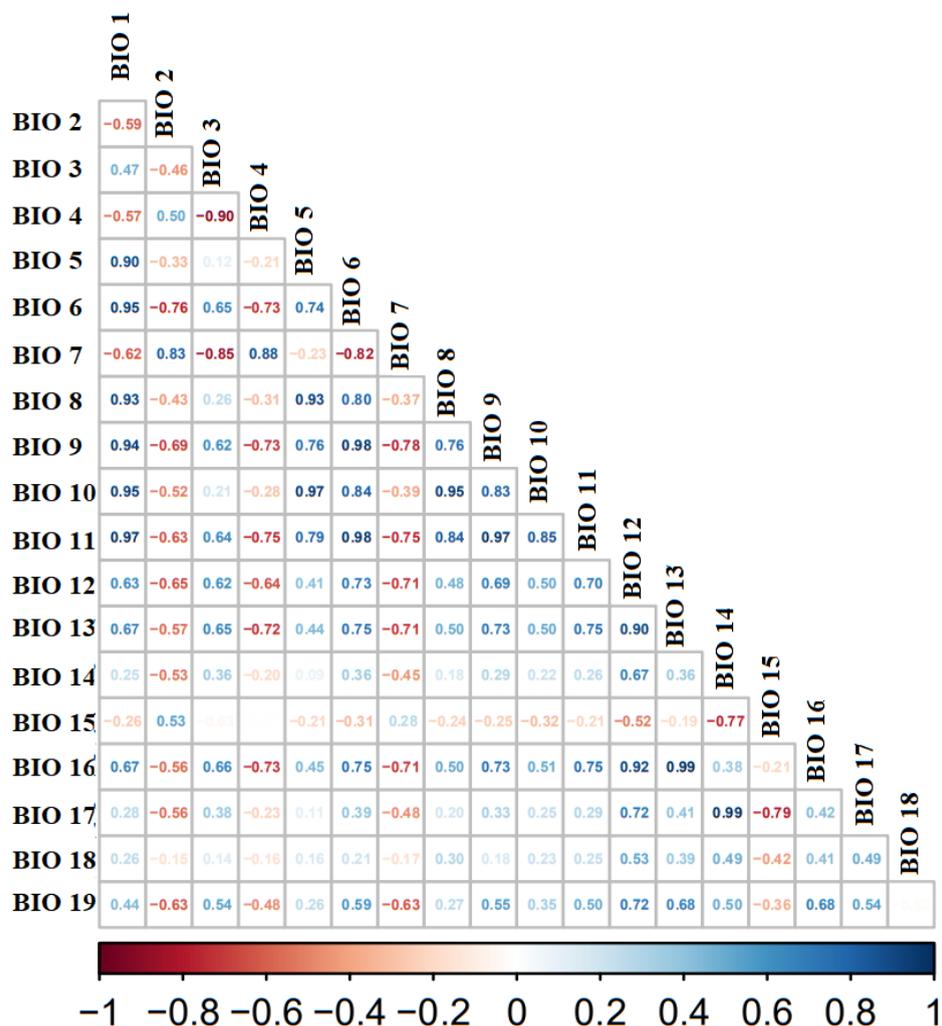
Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Os dados georreferenciados das espécies arbóreas da Caatinga foram coletados na base de dados *online Species Link* (<https://specieslink.net/>). Foram removidas as coordenadas repetidas e que ocorriam fora da área geográfica do Brasil. Posteriormente, utilizou-se mapas de cobertura vegetal extraídas da base do Mapbiomas 4.1 (<https://mapbiomas.org/>) para excluir os pontos que ocorriam fora de áreas naturais, i.e. áreas sem cobertura vegetal (SOUZA et al., 2020). Ao final, selecionamos apenas as espécies que possuíam no mínimo 10 coordenadas geográficas, resultando em uma lista de 90 espécies que foram consideradas para a realização deste estudo.

### **3.3. Variáveis bioclimáticas**

Para a realização das modelagens de distribuição das espécies, foram utilizados dados bioclimáticos globais disponíveis na base de dados do *Worldclim 2.1* ([worldclim.org](http://worldclim.org)) para os períodos de 1970-2000, este considerado período “presente” pois são os dados mais atuais disponíveis da base de dados, e dados bioclimáticos previstos para o período de 2081-2100. Entre os modelos climáticos futuros disponíveis na base de dados, foi selecionado o modelo de pesquisa interdisciplinar sobre clima, sistema terrestre versão 2 para simulações de longo prazo, cujo a sigla é MIROC-ES2L, sendo este um modelo de sistema terrestre que usa um modelo climático de última geração como núcleo base e considera os ciclos explícitos de carbono e nitrogênio para a terra e ciclos de carbono, nitrogênio, ferro, fósforo e oxigênio para o oceano (HAJIMA et al., 2019).

Dentro desta base de dados, existem quatro projeções climáticas para o futuro, baseadas em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa, representadas em Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSP, sigla em inglês; RIAHI et al., 2017): 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. Os SSPs fornecem dados em conjunto com cenários de população nacional, urbanização, e podem ser utilizados para projeções futuras tanto no que tange caminhos socioeconômicos quanto climáticos (RIAHI et al., 2017). Para este trabalho foram escolhidos dois cenários para estimativa futura: SSP2-4.5 e SSP5-8.5. O cenário SSP2-4.5, considerado um cenário intermediário, prevê um impacto mais lento das mudanças climáticas, um uso mais ameno de combustível fóssil. Em contrapartida, o cenário SSP5-8.5, apresenta maior emissão de gases de efeito estufa (GEE), proveniente do uso desenfreado de combustível fóssil (RIAHI et al., 2017; ver também SILVA et al. 2019).

Os dados bioclimáticos selecionados foram os que possuem resolução de 2,5 minutos de raio (*pixels* ~ 21,4 km<sup>2</sup>). Estão disponíveis 19 variáveis bioclimáticas no WordClim para cada um dos períodos, que se relacionam a temperatura e precipitação, logo, apresentam maior relevância para simulações de distribuição de espécies (HIJMANS et al., 2005). Para realizar as modelagens, foi gerado um teste de correlação para retirar as variáveis bioclimáticas que foram altamente correlacionadas ( $r > 0,8$ ) (Figura 2), levando em consideração apenas o cenário atual. A retirada das variáveis com alta correlação é importante pois garante modelos bioclimáticos com menor grau de erro, bem como maior relevância na ciência para estudos sobre um conjunto regional de espécies durante os períodos considerados (SILVA et al., 2019). Com isso, foram usadas 8 (oito) variáveis bioclimáticas: amplitude de temperatura anual (Bio7), temperatura média do trimestre mais úmido (Bio8), temperatura média do trimestre mais seco (Bio9), precipitação anual (Bio12), sazonalidade da precipitação (Bio15), precipitação do trimestre mais seco (Bio17), precipitação do trimestre mais quente (Bio18) e precipitação do trimestre mais frio (Bio19).



**Figura 2** - Correlação entre as variáveis bioclimáticas do 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 contém os nomes de cada variável. BIO 1 - Temperatura Média Anual, BIO 2 - Amplitude Diurna Média, BIO 3 - Isotermalidade, BIO 4 - Sazonalidade da Temperatura, BIO 5 - Temperatura Máxima do Mês Mais Quente, BIO 6 - Temperatura Mínima do Mês Mais Frio, BIO 7 - Amplitude de Temperatura Anual, BIO 8 - Temperatura Média do Trimestre Mais Úmido, BIO 9 - Temperatura Média do Trimestre Mais Seco, BIO 10 - Temperatura Média do Trimestre Mais Quente, BIO 11 - Temperatura Média do Trimestre Mais Frio, BIO 12 - Precipitação Anual, BIO 13 - Precipitação do Mês Mais Úmido, BIO 14 - Precipitação do Mês Mais Seco, BIO 15 - Sazonalidade da Precipitação, BIO 16 - Precipitação do Trimestre Mais Úmido, BIO 17 - Precipitação do Trimestre Mais Seco, BIO 18 - Precipitação do Trimestre Mais Quente, BIO 19 - Precipitação do Trimestre Mais Frio.

### 3.4. Modelo de distribuição

Para a modelagem de distribuição dos três cenários (um presente e dois futuros), foi utilizado um algoritmo, MAXENT (versão 3.4.4), baseado no método de entropia máxima para prever as áreas mais adequadas para a ocorrência das espécies de plantas da Caatinga (SILVA et al., 2019; PETERSON, et al., 1999). O método implementado por meio do Maxent é adequado para desempenhar trabalhos que se baseiam em dados de presença (ELITH et al., 2011). É um modelo amplamente testado que fornece previsões com altos níveis de precisão para ambientes terrestres e marinhos (ELITH et al., 2006). Todas as 90 espécies apresentam pelo menos doze registros de coordenadas geográficas, o que proporciona uma maior confiabilidade dos resultados (ELITH et al., 2011).

O algoritmo Maxent é determinístico e converge para a distribuição de probabilidade (PHILLIPS et al., 2006). O resultado é dado em um valor não negativo atribuído para cada pixel da área de estudo, com valores variando entre 0 e 1. Com isso, usamos o valor da área sob a curva (AUC) como uma medida da capacidade do modelo para discriminar locais com base na ausência e presença de espécies (MCFARLAND et al., 2013). Nesse sentido, os modelos mais bem ajustados aos dados apresentam valores de AUC mais próximos de 1, indicando maior probabilidade de ocorrência da espécie.

A partir desses dados foram produzidos mapas binários de ocorrência das espécies. Para a produção deste, a fins analíticos, optamos por utilizar uma probabilidade baixa de ocorrência ( $\leq 0,4$ ) para as espécies em cada coordenada de amostra, tido como um valor mínimo de probabilidade de ocorrência (YAN et al., 2020). A extensão de habitats adequados foi calculada separadamente para cada traço funcional, onde consideramos apenas os *pixels* com ocorrência na área geográfica correspondente à Caatinga (= 40951 *pixels*). Por fim, sobreposmos os mapas binários das 90 espécies e o conjunto daquelas com ocorrência simultânea em cada pixel foi considerado uma comunidade. Para a confecção dos mapas foi usado o software QGIS (versão 3.16.13)

### 3.5. Análise de dados

Para testar a influência dos traços funcionais na distribuição potencial das plantas, realizamos modelos lineares gerais considerando a diferença no percentual de área adequada dentro da Caatinga entre o futuro e o presente (i.e.  $\Delta$  futuro-presente) como variável resposta. Os mapas binários foram sobrepostos e as espécies que ocorreram em um mesmo pixel foram

consideradas como uma comunidade biológica. Posteriormente, foi calculado a média ponderada dos atributos (*community-weighted mean*, CWM) dos traços funcionais em cada comunidade. Por fim, realizamos correlações de Pearson para entender quais variáveis bioclimáticas mais demonstrariam correlação com as diferenças nos valores médios (CWM) dos traços nas comunidades.

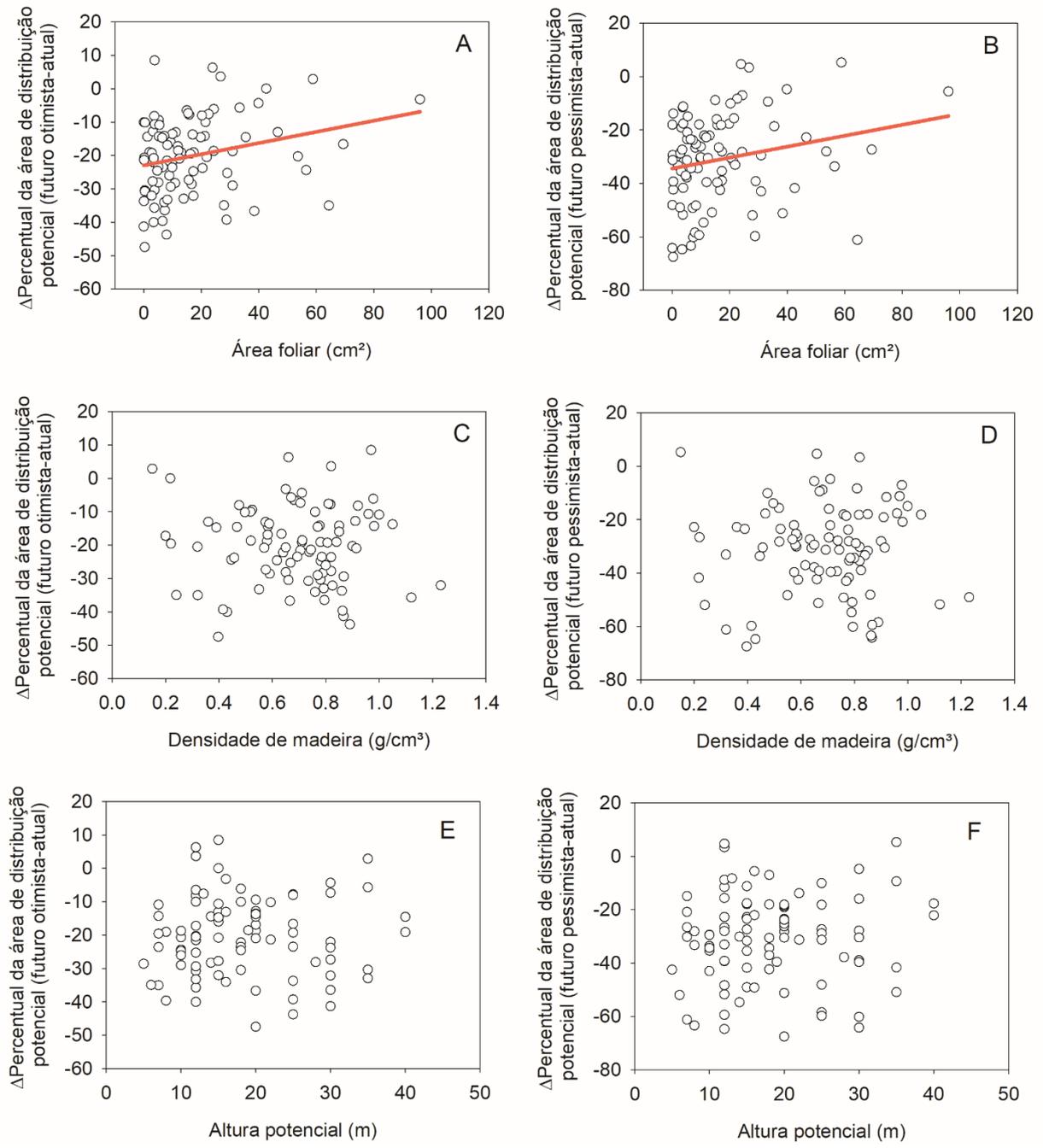
#### 4. Resultados

Foram analisadas 90 espécies distribuídas em 28 famílias. Dentre as famílias, as mais representativas foram Fabaceae (29 espécies), Apocynaceae (6 espécies), Malvaceae (6 espécies), Myrtaceae (6 espécies) e Anacardiaceae (5 espécies) o que corresponde a, aproximadamente, 57,8% do total de espécies levantadas neste estudo. No total foram obtidos 20.764 dados geográficos de ocorrência, destacando-se com maior abundância *Tapirira guianensis* (1044 registros) e menor abundância *Cavanillesia umbellata* (12 registros).

A maioria das espécies (87 espécies) tendem a diminuir suas áreas de distribuição potencial dentro do território da Caatinga. Os atributos funcionais demonstraram alta variação entre as espécies. Área foliar apresentou variação de 0,02–69,34cm<sup>2</sup>, densidade de madeira 0,15–0,98 g/cm<sup>3</sup> e altura potencial 5–40m. As plantas com menor e maior área foliar foram respectivamente *Anadenanthera colubrina* e *Genipa americana*, enquanto aquelas com menor e maior densidade de madeira foram *Cavanillesia umbellata* e *Eugenia ligustrina*, respectivamente, e de menor e maior altura potencial *Ceiba glaziovii* e *Aspidosperma macrocarpon*.

Pode ser observado uma mudança na área de distribuição potencial das espécies variando de acordo com o traço funcional (Figura 3). Plantas com maior área foliar apresentam menor perda da área de distribuição potencial para ambos futuros dentro da sua área de distribuição, todavia a densidade de madeira e altura potencial não foram correlacionadas com as variáveis bioclimáticas (Tabela 2).

**Figura 3:** Gráficos de distribuição potencial das 90 espécies arbóreas em relação aos atributos funcionais em dois cenários futuros, um otimista e outro pessimista de mudanças climáticas.



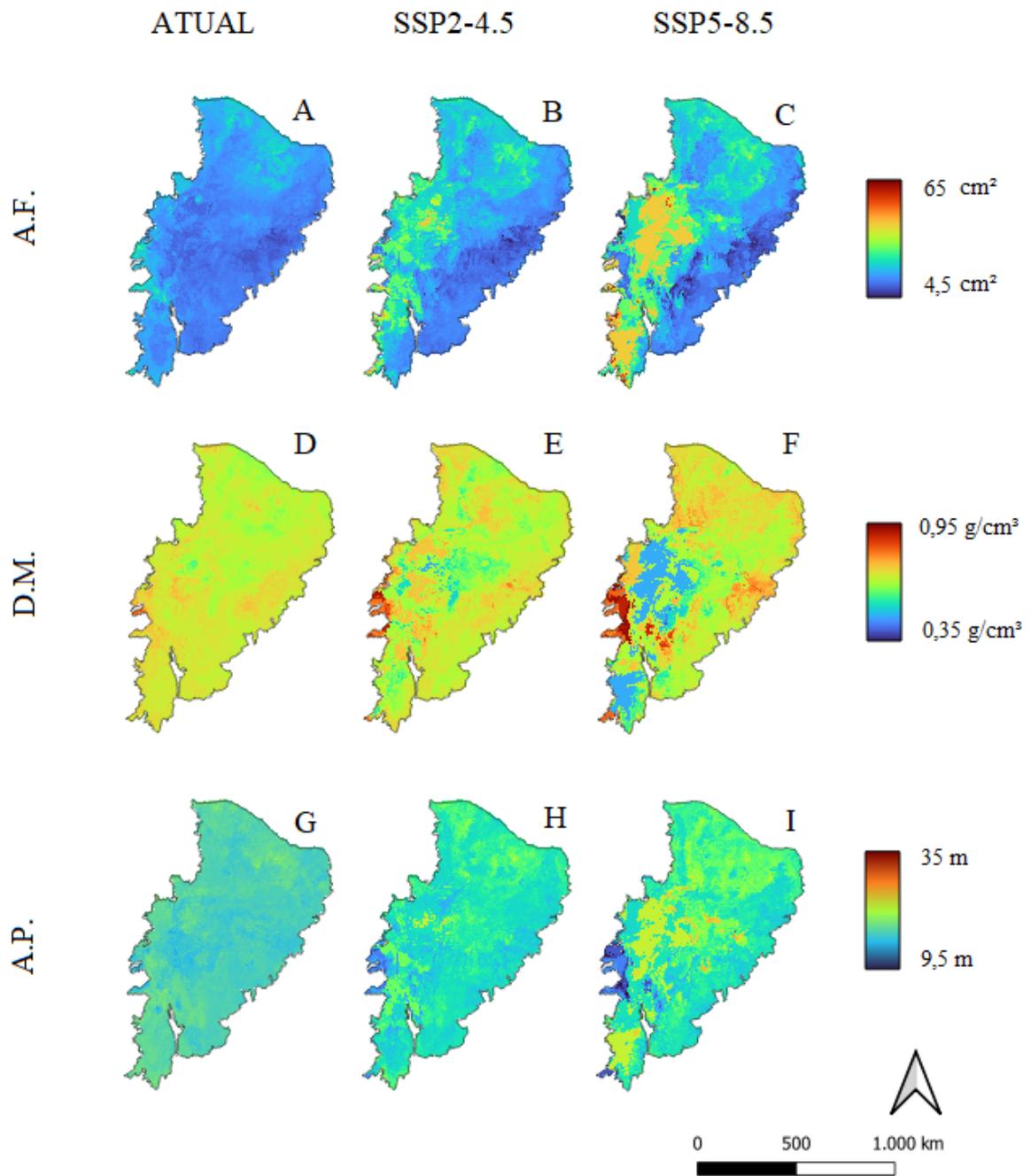
**Tabela 1:** Relação entre a variação na área de distribuição potencial (futuro-presente) e os traços funcionais de espécies de plantas arbóreas na Caatinga. Foram analisados dois cenários futuros para o período de 2080-2100, um maior otimista (SSP2-4.5) e outro pessimista (SSP5-8.5). Valores em negritos representam correlações significativas ( $P < 0,05$ ). Os valores de  $t$  correspondem ao grau da correlação.

	Área foliar		Densidade de madeira		Altura potencial		R <sup>2</sup>	Modelo completo
	$t$	$P$	$t$	$P$	$t$	$P$		$P$
ΔFuturo otimista - presente	<b>2,450</b>	<b>0,016</b>	0,492	0,624	0,098	0,922	0,07	0,113
ΔFuturo pessimista - presente	<b>2,236</b>	<b>0,028</b>	0,856	0,394	0,710	0,479	0,06	0,149

Para os cenários considerados, algumas espécies poderão ser favorecidas, baseado no resultado do modelo linear geral, pois apresentaram um pequeno aumento em sua área de distribuição potencial, ou seja, ocorrem em mais *pixels* no futuro do que no presente. Para o cenário otimista, as espécies favorecidas são *Cavanillesia umbellata*, *Aspidosperma subincanum*, *Casearia aculeata* e *Cenostigma macrophyllum*, respectivamente, apresentando aumento de 2,88%, 3,62%, 6,29% e 8,46% na área de distribuição dentro da Caatinga; e para o cenário pessimista, as espécies que serão favorecidas serão *Aspidosperma subincanum*, *Casearia aculeata* e *Cavanillesia umbellata*, , apresentando aumento na área de distribuição potencial de, respectivamente, 3,35%, 4,63% e 5,27%. Em contrapartida, as espécies que mais serão desfavorecidas em cenários otimistas serão *Enterolobium contortisiliquum*, *Platymiscium floribundum* e *Anadenanthera colubrina*, apresentando, respectivamente, diminuição de 47,51%, 43,76% e 41,34% da sua área de distribuição atual; e em cenários pessimista, a espécies que mais perderão hábitat serão *Enterolobium contortisiliquum*, *Commiphora leptophloeos* e *Anadenanthera colubrina*, que apresentam perda de 67,56%, 64,75% e 64,21% da distribuição geográfica que ocupa dentro do território da Caatinga.

Ao realizar a análise do CWM para cada atributo funcional estudado dentro da comunidade biológica, pode-se observar que para ambos os futuros, otimista e pessimista, há um deslocamento de hábitat adequado para ocorrência das espécies (Figura 4). Ficando evidente que, a oeste da Caatinga, onde esta faz fronteira com o Cerrado, a área foliar tende a ter um aumento considerável, enquanto que a leste, onde faz fronteira com a Mata Atlântica,

a área foliar apresenta uma propensão a diminuição. Mudança esta que fica ainda mais forte no cenário pessimista. É observado uma mudança variável na ocorrência da densidade de madeira onde, a sul e a oeste da Caatinga, haverá uma tendência a diminuição da densidade de madeira, entretanto é observado um aumento da mesma na fronteira sudoeste, Caatinga/Cerrado, da mesma forma que à norte e à leste. A altura potencial das plantas apresenta uma predisposição a diminuir na porção oeste, enquanto que nas outras porções do domínio há uma tendência a ficarem mais altas.



**Figura 4:** Mapas de distribuição potencial com a média ponderada dos atributos funcionais das espécies vegetais. A.F. = Área Foliar (A, B C), D.M. = Densidade de Madeira (D, E, F) A.P. = Altura Potencial (G, H, I). Mapas de distribuição potencial de ocorrência das espécies na Caatinga no presente (Atual) e em dois cenários futuros, otimista (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5), de mudanças climáticas.

Ao correlacionar o CWM do  $\Delta$  futuro otimista–presente e as variáveis bioclimáticas selecionada para o modelo deste estudo, evidenciamos que a maioria das correlações foram significativas ( $P < 0,05$ ; Tabela 3). Todavia, as correlações foram fracas, sendo a maioria  $r < 0,3$ . Observou-se que a variável que mais se correlacionou positivamente com a variação da área foliar foi a amplitude de temperatura anual. Para os demais traços funcionais, densidade de madeira e altura potencial, não se observou correlações fortes. Apesar disso, a variável que apresentou maior correlação negativa com a densidade de madeira foi a sazonalidade de precipitação. Para altura potencial, também não houve correlações fortes, entretanto, a variável que mais se correlacionou com a mudança de distribuição desse traço funcional foi precipitação anual, demonstrando correlação positiva.

**Tabela 2:** Correlação entre cada variável bioclimática selecionada para o estudo e a diferença do cenário atual (presente) e o futuro mais otimista (SSP2-4.5). Valores em negrito representam correlações significativas ( $P < 0,05$ ). Os valores correspondem ao grau de correção entre o atributo funcional e a variável bioclimática.

Variáveis bioclimáticas	Área Foliar	Densidade de madeira	Altura potencial
Amplitude de temperatura anual	<b>0,61</b>	<b>-0,10</b>	0,00
Temperatura média do trimestre mais úmido	<b>-0,04</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,02</b>
Temperatura média do trimestre mais seco	<b>0,06</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,04</b>
Precipitação anual	<b>-0,21</b>	<b>0,07</b>	<b>0,20</b>
Sazonalidade da precipitação	<b>0,15</b>	<b>-0,21</b>	<b>-0,09</b>
Precipitação do trimestre mais seco	<b>0,33</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,03</b>
Precipitação do trimestre mais quente	<b>-0,20</b>	<b>-0,02</b>	<b>-0,04</b>
Precipitação do trimestre mais frio	<b>0,06</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,03</b>

Ao analisar o  $\Delta$  futuro pessimista–presente (Tabela 4), foi possível evidenciar que, no cenário pessimista, a maioria das correlações não é forte ( $r < 0,3$ ). A variável que mais apresentou correlação com a diferença da área foliar foi a amplitude de temperatura anual, sendo esta uma correlação positiva. Para a variação na densidade de madeira a variável que mais se correlacionou foi a amplitude de temperatura anual, apresentando correlação

negativa. Já a mudança na altura potencial não foi bem correlacionada com nenhuma variável selecionada para o modelo, entretanto, a que mais demonstrou correlação foi a precipitação anual que, por sua vez, foi positiva.

**Tabela 3:** Correlação entre cada variável bioclimática selecionada para o estudo e a diferença do cenário atual (presente) e o futuro mais otimista (SSP5-8.5). Valores em negrito representam correlações significativas ( $P < 0,05$ )

Variáveis bioclimáticas	Área Foliar	Densidade de madeira	Altura potencial
Amplitude de temperatura anual	<b>0,61</b>	<b>-0,36</b>	<b>0,02</b>
Temperatura média do trimestre mais úmido	<b>0,08</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,12</b>
Temperatura média do trimestre mais seco	<b>0,11</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,01</b>
Precipitação anual	<b>-0,22</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>
Sazonalidade da precipitação	<b>0,22</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,06</b>
Precipitação do trimestre mais seco	<b>0,34</b>	<b>-0,09</b>	<b>0,12</b>
Precipitação do trimestre mais quente	<b>-0,15</b>	<b>0,12</b>	<b>-0,05</b>
Precipitação do trimestre mais frio	<b>0,12</b>	<b>-0,12</b>	<b>0,03</b>

Para o futuro, o traço funcional que melhor explica a distribuição potencial das espécies é a área foliar. Sendo esta altamente correlacionada com variável amplitude de temperatura anual em ambos futuros. Dessa maneira, quanto maior a variação de temperatura anual, maior tendência ao aumento do tamanho foliar.

## 5. Discussão

Foi averiguado, no presente estudo, por meio de modelagem de distribuição de espécies, como os traços funcionais influenciam na resposta das espécies às mudanças climáticas e como afetarão a disposição geográfica futura de comunidades de plantas da Caatinga. Em resumo, os resultados indicam que, em cenários futuros para o período de 2081-2100, otimista ou pessimista, em comparação com as áreas de habitat adequados do

tempo atual, plantas que apresentarem maiores áreas foliares serão menos afetadas pelas mudanças climáticas. Com isso, o atributo funcional que mais apresentou resposta frente às mudanças climáticas foi a área foliar. Espécies que apresentarem menor área foliar serão mais afetadas.

Espécies vegetais da Caatinga fazem uso de um conjunto de atributos que gera melhor adaptação às condições áridas, e tais características possibilitam a ocorrência e sucesso delas mesmo em condições irregulares de temperatura e pluviosidade (SANTOS et al., 2014). As espécies já apresentam adaptações que possibilitam sua ocorrência e sucesso no ambiente. Na Caatinga observa-se adaptações para a mudança no clima que ocorre anualmente. Com o aumento da temperatura as folhas tendem a fechar seus estômatos, gerando redução da perda de água por evapotranspiração estomática (LIAN et al., 2021) e evaporação da superfície do solo (ZHANG et al., 2016). O contrabalanceamento da perda de água pode ser realizada através de características estruturais das plantas como fotossíntese aprimorada (HAVERD et al., 2020) e aprofundamento do sistema radicular (NIE et al., 2013). Em ambientes semiáridos o maior fator limitante é a falta de água (CARVALHO, 2021) sendo mais sensível ao déficit de umidade do solo do que ao déficit de umidade da atmosfera (STOCKER et al., 2018). Logo, a economia hídrica relacionada ao aumento de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) pode ser compensatória ao déficit hídrico de uma atmosfera mais quente (LIAN et al., 2021). Fatores esses que indicariam razões pelas quais plantas com maior área foliar seriam menos afetadas no futuro. Dessa maneira, os resultados encontrados no presente estudo são divergentes com CARVALHO (2021) e ZORGER (2017) que contratam que plantas de menor área foliar expandiriam suas áreas de ocorrência no futuro.

Atualmente, plantas que apresentam baixa densidade de madeira são aquelas que possuem maior distribuição no semiárido brasileiro (CARVALHO, 2021). Isso pode ocorrer devido à exploração maciça de madeira no semiárido do Brasil como matéria prima para recursos financeiros das famílias pobres que residem nessas áreas (SPECHT et al., 2015). Entretanto, espécies que apresentam alta densidade de madeira podem ser mais resistentes a condições de seca (POORTER; MARKESTEIJN, 2008). Entretanto, a coexistência de espécies de ADM e BDM no mesmo ambiente, indica que pode haver influências de outras características que possibilitam seu sucesso no ambiente (BRITO, 2021). Com isso, esperava-se que plantas com essa característica apresentassem menor vulnerabilidade às mudanças climáticas (CHAVE et al., 2009). Porém, nossos resultados não suportam a hipótese de que a baixa densidade de madeira seria desfavorecida em cenários futuros, pois não apresentou relação com a distribuição potencial das espécies.

A influência da altura potencial das plantas não apresenta relação explícita com a distribuição potencial. Alguns trabalhos relacionam maiores alturas potenciais com a competência de acessar recursos hídricos em grandes profundidades (VALVERDE-BARRANTES et al., 2017; MOLES et al., 2009). Outros indicam que a altura pode estar associada a vulnerabilidade das plantas a períodos de grande estiagem (STOVALL et al., 2019) uma vez que ficam sujeitas à cavitação por apresentarem vasos condutores muito longos (STOVALL et al., 2019; OLSON et al., 2018). Espécies vegetais de florestas semiáridas são, naturalmente, menores que aquelas encontradas em ambientes úmidos devido a baixa disponibilidade hídrica e altas temperaturas (PENNINGTONS et al., 2018). Dessa maneira, o papel da altura não foi bem evidenciado, uma vez que não foi relacionado com as mudanças na distribuição potencial das plantas. Corroborando, assim, com os resultados do estudo de CARVALHO (2021) que indica que a altura das plantas da Caatinga não se relacionou com a sua vulnerabilidade.

Estudos indicam que um dos maiores fatores para o risco de extinção das espécies é a perda de hábitat adequado para sua ocorrência (THOMAS et al., 2004). No Brasil, regiões semiáridas são extremamente ocupadas por populações pobres que fazem uso de recursos naturais para subsistência (SPECHT et al., 2015). Além disso, apenas cerca de 2% da Caatinga é protegida estritamente (FONSECA et al., 2017) gerando baixo controle do uso dos recursos naturais e maiores danos são causados sobre a dinâmica e funcionamento dos ecossistemas bem como perda maciça da diversidade biológica (MILES et al., 2006). Assim, mudanças climáticas juntamente com as alterações antrópicas interferem de maneira grave nas interações ecológicas e dinâmicas ambientais, ameaçando a ocorrência de áreas adequadas para a persistência das espécies nativas (RITO et al., 2017).

## **6. Conclusão**

Baseado no grupo de espécies avaliadas, variáveis, análises e modelagem climática realizada, nossas hipóteses não foram corroboradas pelos resultados encontrados. Dos atributos funcionais utilizados para o presente estudo, apenas a área foliar apresentou relação significativa com a distribuição potencial das espécies. Foi demonstrado que, para o futuro de mudanças climáticas, plantas que apresentem maiores áreas foliares serão menos afetadas em ambos cenários futuros. Este domínio fitogeográfico tem sido abarcado com ações antrópicas desde o tempo colonial (DÍAZ et al., 2007) e sofre ainda mais impacto com o advento das mudanças climáticas. Ademais, a perda de hábitat adequado para as espécies poderá gerar um

desequilíbrio ambiental em cascata, comprometendo as interações e dinâmicas ecológicas entre as plantas e animais da Caatinga. Dessa maneira, estudos que relacionem a disposição geográfica das plantas frente às mudanças climáticas com traços funcionais são importantes para desenvolvimento de planos de manejo dessas áreas possivelmente mais afetadas. Além do mais, a Caatinga segue sendo o domínio menos protegido dentre os principais do Brasil, dessa maneira sugerimos um investimento na conservação desta floresta através da implementação de novas áreas protegidas.

## Referências bibliográficas

- AB'SÁBER, N. A. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 2003.
- ACKERLY, D. D. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. 2004.
- ACKERLY, D. D. et al. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. 2022.
- ALEXANDER, J. M.; DIEZ, J. M.; LEVINE, J. M. Novel competitors shape species' responses to climate change. DOI 10.1038/nature14952. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature14952>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- ANDERSON-FREY, A. K. Statistical Examination of Tornado Report and Warning Near-Storm Environments. 2017. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017PhDT>. Acesso em: 10 ago.. 2022.
- ANDRADE, J. R. de. Regeneração e dinâmica em florestas da Caatinga jovem e madura. 2016.
- ARAÚJO, M. B.; ALAGADOR, D.; CABEZA, M.; NOGUÉS-BRAVO, D.; THUILLER, W. Climate change threatens European conservation areas. 2011. DOI 10.1111/j.1461-0248.2011.01610.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2011.01610.x>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- ATTORRE, F.; ABELI, T.; BACCHETTA, G.; FARCOMENI, A.; FENU, G.; DE SANCTIS, M.; GARGANO, D.; PERUZZI, L.; MONTAGNANI, C.; ROSSI, G.; CONTI, F.; ORSENIGO, S. How to include the impact of climate change in the extinction risk assessment of policy plant species? 2018. DOI 10.1016/j.jnc.2018.06.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1617138118300657>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- BANDA-R, K.; DELGADO-SALINAS, A.; DEXTER, K.G. et al. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. 2016.
- BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J. DE; SOUZA, G. M. Caracterização Fotossintética Da Espécie Isohídrica Pata-De-Elefante Em Condições De Deficiência Hídrica. 2015.
- BIGLER, C.; BUGMANN, H. Climate-induced shifts in leaf unfolding and frost risk of European trees and shrubs. 2018. DOI 10.1038/s41598-018-27893-1. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-27893-1>. Acesso em: 11 ago. 2022.
- BORCHERT, R. Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees. 1994. <https://doi.org/10.2307/1937467>
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. 2002.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Brasil: 5o Relatório Nacional para a Convenção Sobre Diversidade Biológica. 2016.

BRUM, M., VADEBONCOEUR, M.A., IVANOV, V., ASBJORNSEN, H., SALESKA, S., ALVES, L.F., PENHA, D., DIAS, J.D., ARAG, L.E.O.C., BARROS, F., BITTENCOURT, P., PEREIRA, L. & OLIVEIRA, R.S. Hydrological niche segregation defines forest structure and drought tolerance strategies in a seasonal Amazon forest. 2019.

HOLZ, F. G., GOLDSTEIN, G., MEINZER, F. C., FRANCO, A. C., ZHANG, Y., HAO, G-Y. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. 2008.

BUCCI, S.J., GOLDSTEIN, G., MEINZER, C., SCHOLZ, F.G., FRANCO, A.C. e BUSTANTE, M. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. 2004.

BUSSOTTI, F, POLLASTRINI, M., HOLLAND, V., BRÜGGEMANN, W. Características funcionais e capacidade de adaptação das florestas europeias às mudanças climáticas. 2015.

CARLUCCI, M.B., DEBASTIANI, V.J., PILLAR, V.D. e DUARTE, L.D.S. . Between- and within- species trait variability and the assembly of sapling communities in forest patches. 2015.

CARVALHO, E. C. D.; SOUZA, B. C.; TROVÃO, D. M. B. Ecological succession in two remnants of the Caatinga in the semi-arid tropics of Brazil. *Revista Brasileira de Ciências*. 2012.

CARVALHO, Carlos Eduardo de. Traços funcionais como preditores da vulnerabilidade de plantas às mudanças climáticas: estudo de caso no semiárido brasileiro. 2021. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

CHAVE, J., COOMES, D., JANSEN, S., LEWIS, S.L., SWENSON, N.G., & ZANNE, A.E. Towards a worldwide wood economics spectrum. 2009.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A.; TER STEEGE, H., e WEBB, C. O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. 2006.

CHAVE, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. 2003.

CHESSON, P., GEBAUER, R.L.E., SCHWINNING, S., HUNTLY, N., WIEGAND, K., ERNEST, M.S.K., SHER, A., NOVOPLANSKY, A. & WELTZIN, J.F. Resource pulses, species interactions and diversity maintenance in arid and semi-arid environments. 2004.

CORNELISSEN, J.H.C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E. et al. Handbook of protocols for standardised and easy measurements of plant functional traits worldwide. 2003.

COSTA, W. F., RIBEIRO, M., SARAIVA, A. M., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L., GIANNINI, T. C. Bat diversity in Carajás National Forest (Eastern Amazon) and potential impacts on ecosystem services under climate changes. 2018.

CROUS, C. J.; MALAN, F. S.; WINGFIELD, M. J. Securing African forests for future drier climates: applying ecophysiology in tree improvement. 2016.

DÍAZ, S. et al. Plant trait responses to grazing – a global synthesis. *Global Change Biology*. 2007.

DIAZ, S.; CABIDO, M.; CASANOVES, F. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. 1998.

EBELE, N. E.; EMODI, N. V. Climate Change and Its Impact in Nigerian Economy. *Journal of Scientific Research and Reports*, p. 1–13, 22 maio 2016. DOI 10.9734/JSRR/2016/25162. Disponível em: <https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/21917>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ELITH, J., PHILLIPS, S. J., HASTIE, T., DUDÍK, M., CHEE, Y. E., YATES, C. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. 2011

FINE, P.V.A, MESONES, I., & COLEY, P.D. Herbivores Promote Habitat Specialization by Trees in Amazonian Forests. *Science*, v. 305, p. 663–665. 2004.

FLORA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2020 Under construction. Available from <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>

FONSECA, C. R., ANTONGIOVANNI, M., MATSUMOTO, M., BERNARD, E., VENTICINQUE, E. M. Conservation opportunities in the Caatinga. In Silva JMC, Leal IR, Tabarelli M, editors. *Caatinga- The largest tropical dry forest region in South*. 2017.

FU, X. et al. Coordination and trade-offs between leaf and stem hydraulic traits and stomatal regulation along a spectrum of isohydry to anisohydry. 2019.

GARCÍA MOLINOS, J.; HALPERN, B. S.; SCHOEMAN, D. S.; BROWN, C. J.; KIESSLING, W.; MOORE, P. J.; PANDOLFI, J. M.; POLOCZANSKA, E. S.; RICHARDSON, A. J.; BURROWS, M. T. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. 2016. DOI 10.1038/nclimate2769. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate2769>. Acesso em: 10 ago. 2022.

GRAEFF, O. *Fitogeografia do Brasil: Uma atualização de bases e conceito*. 2015.

GREENWOOD, S. et al. Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. 2017.

GRIME, J. P. Trait convergence and trait divergence in herbaceous plant communities: mechanisms and consequences. 2006.

GRIME, J.P., PIERCE, S. *The evolutionary strategies that shape ecosystems*. 2012.

HACKE, U., e SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*. 2001.

HACKE, U., SPERRY, J., POCKMAN, W., DAVIS, S. D., & MCCULLOH, K. A. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. 2001.

HAJIMA, T., WATANABE, M., YAMAMOTO, A., TATEBE, H., NOGUCHI, M. A., ABE, M., OHGAITO, R., ITO, A., YAMAZAKI, D., OKAJIMA, H., ITO, A., TAKATA, K.,

OGOCHI, K., WATANABE, S., & KAWAMIYA, M. Description of the MIROC-ES2L Earth system model and evaluation of its climate–biogeochemical processes and feedbacks. 2019. <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-275>

HARRISON, S. Plant community diversity will decline more than increase under climatic warming. 2020. DOI 10.1098/rstb.2019.0106. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2019.0106>. Acesso em: 17 ago. 2022.

HAYERD, V. et al. Higher than expected CO<sub>2</sub> fertilization inferred from leaf to global observations. *Glob.* 2020.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. 2005.

HIROTA, M. et al. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 12 set 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acessado em 14 de out 2022

IPCC Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013.

IPCC Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.

JANSSEN, T. A. J. et al. Wood allocation trade-offs between fiber wall, fiber lumen, and axial parenchyma drive drought resistance in neotropical trees. 2020.

LAVOREL, S. et al. Assessing functional diversity in the field – methodology matters. 2008.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Functional Ecology. 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>>.

LEAL, I. R.; DA SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. et al. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil. 2005.

LEBRIJA-TREJOS, E., PÉREZ-GARCÍA, E.A., MEAVE, J.A., BONGERS, F., & Li D, Wu S, Liu L, Zhang Y, Li S. Vulnerabilidade dos ecossistemas terrestres globais às mudanças climáticas. 2018.

LEBRIJA-TREJOS, E., PÉREZ-GARCÍA, E.A., MEAVE, J.A., BONGERS, F., & POORTER, L. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. 2010.

LIAN, X., PIAO, S., CHEN, A., HUNTINGFORD, C., FU, B., LI, L. Z. X., ... Roderick, M. L. Multifaceted characteristics of dryland aridity changes in a warming world. 2021. doi:10.1038/s43017-021-00144-0

LIMA, A. D. A. e RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. 2010.

LIMA, A. L. A. et al. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? *Trees - Structure and Function*, v. 26, n. 5, p. 1605–1616, 2012.

MARENGO, J.; JONES, R.; ALVES, L.; RAMÍREZ, V. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>.

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, 1 ago. 2017. DOI 10.1007/s00704-016-1840-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 18 ago. 2022.

MARTORELL, C.; PETERS, E. Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. 2009.

MCFARLAND, K. P.; RIMMER, C. C.; GOETZ, J. E.; AUBRY, Y.; JR, J. M. W.; SUTTON, A.; TOWNSEND, J. M.; SOSA, A. L.; KIRKCONNELL, A. A Winter Distribution Model for Bicknell's Thrush (*Catharus bicknelli*), a Conservation Tool for a Threatened Migratory Songbird. 2013.

MEINZER, F. C. Functional convergence in plant responses to the environment. 2003.

MEINZER, F. C. et al. Mapping 'hydroscares' along the iso- to anisohydric continuum of stomatal regulation of plant water status. 2016.

MENCUCCINI, M. et al. Leaf economics and plant hydraulics drive leaf : wood area ratios. 2019.

MILES L, NEWTON AC, DEFRIES RS, RAVILIOUS C, MAY I, BLYTH S, KAPOS V, GORDON JE. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *J*. 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. MMA, Brasília; 2007.

MOLES, A.T. Being John Harper: Using evolutionary ideas to improve understanding of global patterns in plant traits. 2018.

MOLES, A.T., ACKERLY, D.D., TWEDDLE, J.C., DICKIE, J.B., SMITH, R., LEISHMAN, WARTON, D.I., WARMAN, L., SWENSON, N.G., LAFFAN, S.W., ZANNE, A.E., ..., LEISHMAN, M.R. Global patterns in plant height. *Journal of Ecology*. 2009.

MORO, M. F., LUGHADHA, E. N., FILER, D. L., ARAÚJO, F. S., MARTINS, F. R. A catalogue of the vascular plants of the Caatinga Phytogeographical Domain, a synthesis of floristic and phytosociological surveys. 2014.

- MORO, M. F. et al. A Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. 2016.
- MURPHY, P.G.; LUGO, A.E. Ecology of tropical dry forest. *annual review of ecology*. 1986.
- MUSCARELLA, R., e URIARTE, M. Do community-weighted mean functional traits reflect optimal strategies? 2016.
- NIE, M., LU, M., BELL, J., RAUT, S. e PENDALL, E. Altered root traits due to elevated CO<sub>2</sub>: a meta- analysis. 2013.
- OLSON, M. E. et al. Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Um novo estado de equilíbrio entre clima e vegetação para a América do Sul Tropical. 2003. <https://doi.org/10.1029/2003GL018600>
- PACIFICI, M., FODEN, W. B., VISCONTI, P., WATSON, J. E. M., BUTCHART, S. H. M., KOVACS, K.M., et al. Assessing species vulnerability to climate change. 2015.
- PACIFICI, M.; VISCONTI, P.; BUTCHART, S. H. M.; WATSON, J. E. M.; CASSOLA, F. M.; RONDININI, C. Species' traits influenced their response to recent climate change. 2017. DOI 10.1038/nclimate3223. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate3223>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- PARK WILLIAMS, A.; ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K.; GRIFFIN, D.; WOODHOUSE, C. A.; MEKO, D. M.; SWETNAM, T. W.; RAUSCHER, S. A.; SEAGER, R.; GRISSINO-MAYER, H. D.; DEAN, J. S.; COOK, E. R.; GANGODAGAMAGE, C.; CAI, M.; MCDOWELL, N. G. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. 2013. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate1693>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- PENNINGTON, R. T.; LEHMANN, C. E. R.; ROWLAND, L. M. Tropical savannas and dry forests. 2018.
- PEÑUELAS, J.; LLORET, F.; MONTOYA, R. Severe Drought Effects on Mediterranean Woody Flora in Spain. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/forestscience/47.2.214>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- PEREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. 2013.
- PETERS, G. P.; ANDREW, R. M.; BODEN, T.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; LE QUÉRÉ, C.; MARLAND, G.; RAUPACH, M. R.; WILSON, C. The challenge to keep global warming below 2 °C. 2013. DOI 10.1038/nclimate1783. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate1783>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; SÁNCHEZ-CORDERO, V. Conservatism of Ecological Niches in Evolutionary Time. 1999. DOI 10.1126/science.285.5431.1265.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. 2006.

- PIERCE, S., NEGREIROS, D., CERABOLINI, B.E.L., KATTGE, J., DÍAZ, S., KLEYER, M., ..., e TAMPUCCI, D. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. 2017.
- PINHO, B.X., DE MELO, F.P.L., ARROYO-RODRÍGUEZ, V., PIERCE, S., LOHBECK, M., e TABARELLI, M. Soil-mediated filtering organizes tree assemblages in regenerating tropical forests. 2018.
- PINHO, Bruno Ximenes. Respostas funcionais de assembléias de árvores a gradientes biogeográficos, climáticos e de uso-do-solo em florestas neotropicais. 2019. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- POORTER, L. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in species-rich tropical system. 2010.
- POORTER, L.; BONGERS, F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. 2006.
- POORTER, L.; MARKESTEIJN, L. Seedling Traits Determine Drought Tolerance of Tropical Tree Species. 2008.
- RAMÍREZ, J. A.; CAVENDER, J. Evolutionary trade-offs between drought resistance mechanisms across a precipitation gradient in a seasonally dry tropical oak (*Quercus oleoides*). 2017.
- RIAHI, K.; VAN VUUREN, D. P.; KRIEGLER, E.; EDMONDS, J.; O'NEILL, B. C.; FUJIMORI, S.; BAUER, N.; CALVIN, K.; DELLINK, R.; FRICKO, O.; LUTZ, W.; POPP, A.; CUARESMA, J. C.; KC, S.; LEIMBACH, M.; JIANG, L.; KRAM, T.; RAO, S.; EMMERLING, J.; ... TAVONI, M. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>>. Acesso em: 25 Jul. 2022.
- RIBEIRO, E.M.S., ARROYO-RODRÍGUEZ, V., SANTOS, B.A., TABARELLI, M. e LEAL, I.R. 2015. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation.
- RITO, F.K., ARROYO-RODRÍGUEZ, V., DE QUEIROZ, T.R., LEAL, I.R. & TABARELLI, M. . Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. 2016. Doi: 10.1111/1365-2745.12712.
- RITO, K. F., ARROYO-RODRIGUEZ, V., QUEIROZ, R. T., LEAL, I. R., TABARELLI, M. Precipitation mediates the effects of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. 2017.
- ROSADO, B. H. P.; DIAS, A. T. C.; DE MATTOS, E. A. Going back to basics: Importance of ecophysiology when choosing functional traits for studying communities and ecosystems. 2013.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian Caatinga. In Bullock SH, Mooney HA, Medina E, editors. Seasonally Dry Tropical Forests. 1995.

SANTOS, M. G., OLIVEIRA, M. T., FIGUEIREDO, K. V., FALCÃO, H. M., ARRUDA, E. C. P., ALMEIDA-CORTEZ, J., et al. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? 2014.

SANTOS, J. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. *Tropical* 2011.

SANTOS, M. G. et al. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? 2014. <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0008-0>

SCHUMANN, K.; LEUSCHNER, C.; SCHULDT, B. Xylem hydraulic safety and efficiency in relation to leaf and wood traits in three temperate *Acer* species differing in habitat preferences. 2019.

SILVA, J. L. S. E., CRUZ-NETO, O., PERES, C. A., TABARELLI, M., LOPES, A. V. As mudanças climáticas irão reduzir o habitat adequado da oresta seca da Caatinga para plantas endêmicas com impactos desproporcionais em estratégias reprodutivas especializadas. 2019

SILVA, W.Z., BRINATE, S. V. B., TOMAZ, M. A., AMARAL, J. F. T., RODRIGUES, W. N., MARTINS, L. D. Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. 2011

SILVA, Á. M. L. e. Tipos funcionais de plantas no semiárido, quais são os atributos chave? Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, 2012.

SILVA, B.C.F. Uso doméstico de recursos madeireiros em comunidades rurais em uma paisagem do semiárido nordestino. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2015.

SILVA, J. M. C., LEAL, I. R., e TABARELLI, M. Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America. Springer International Publishing. 2017

SMITH, S. J., EDMONDS, J., HARTIN, C. A., MUNDRA, A., CALVIN, K. Aceleração de curto prazo na taxa de mudança de temperatura. 2015. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2552>

SOLARIK, K. A.; MESSIER, C.; OUIOMET, R.; BERGERON, Y.; GRAVEL, D. Local adaptation of trees at the range margins impacts range shifts in the face of climate change. 2018. DOI 10.1111/geb.12829. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12829>. Acesso em: 19 ago. 2022.

SOMMER JH, KREFT, H., KIER, G., JETZ, W., MUTKE, J., BARTHLOTT, W. Projected impacts of climate change on regional capacity for global plant species richness. 2010.

SOUZA, B. C. et al. Divergências funcionais e estratégias de resistência à seca entre espécies decíduas e sempre verdes tropicais. 2015.

SOUZA, B. C. et al. Drought response strategies of deciduous and evergreen woody species in a seasonally dry neotropical forest. 2020.

SPECHT, M. J., PINTO, S. R. R., ALBUQUERQUE, U. P., TABARELLI, M., MELO, F. P. M. Burning biodiversity: fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes. 2015.

SPERRY, J. S.; MEINZER, F. C.; MCCULLOH, K. A. Safety and efficiency conflicts in hydraulic architecture: Scaling from tissues to trees. 2008.

STOCKER, B. D. et al. Quantifying soil moisture impacts on light use efficiency across biomes. 2018.

SWENSON, N. G. et al. Long-term shifts in the functional composition and diversity of a tropical dry forest: a 30-yr study. *Ecological Monographs*, v. 90, n. 3, p. e01408, 2020.

SWENSON, N.G., ENQUIST, B.J., PITHER, J., KERKHOFF, A.J., BOYLE, B., WEISER, M.D., ... NOLTING, K. The biogeography and filtering of woody plant functional diversity in North and South America. 2012.

SWENSON, N.G.; ENQUIST, B.J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. 2007.

THOMAS, C. D., CAMERON, A., GREEN, R. E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L. J., COLLINGHAN, Y. C., WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate changes. 2004.

VALIENTE-BANUET, A., et al. Além da perda de espécies: a extinção das interações ecológicas em um mundo em mudança. 2015.

VALVERDE-BARRANTES, O. J. et al. A worldview of root traits: the influence of ancestry, growth form, climate and mycorrhizal association on the functional trait variation of fine-root tissues in seed plants. 2017.

VANDERLEI, R. S. Organização de assembleias de plântulas lenhosas ao longo de gradientes ambientais em uma floresta tropical sazonalmente seca. 2019. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

VIEIRA, A. J. R.; LISI, C. S. Caatinga Tree Wood Anatomy: Perspectives on Use and Conservation. 2019.

VIOLLE, C.; NAVAS, M-L.; VILE, D. et al. Let the concept of trait be functional!. 2007.

WANG, T.; O'NEILL, G. A.; AITKEN, S. N. Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate. *Ecological Applications*, v. 20, n. 1, p. 153–163, 2010. DOI 10.1890/08-2257.1. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/08-2257.1>. Acesso em: 17 ago. 2022.

WERNECK, F. P.; COLLI, G. R. The lizard assemblage from Seasonally Dry Tropical Forest enclaves in the Cerrado biome, Brazil, and its association with the Pleistocenic Arc. *Journal of Biogeography*, v. 33, n. 11, p. 1983–1992, 2006. DOI 10.1111/j.1365-2699.2006.01553.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2699.2006.01553.x>. Acesso em: 17 ago. 2022.

WESTOBY, M., & WRIGHT, I.J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. 2006.

WESTOBY, M., FALSTER, D.S., MOLES, A.T., VESK, P.A., & WRIGHT, I.J. Plant Ecological Strategies: Some Leading Dimensions of Variation Between Species. Annual. 2002.

WILLIAMS, B. L.; BRAUN, J. D.; PAIGE, K. N. Landscape scale genetic effects of habitat fragmentation on a high gene flow species: *Speyeria idalia* (Nymphalidae). 2003. DOI 10.1046/j.1365-294X.2003.01700.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-294X.2003.01700.x>. Acesso em: 17 ago. 2022.

WRIGHT, I. J.; REICH, P.B.; CORNELISSEN, J.H.C. et al. Assessing the generality of global leaf trait relationships. 2004.

WRIGHT, I.J., DONG, N., MAIRE, V., PRENTICE, I.C., WESTOBY, M., DÍAZ, S., ..., WILF, P. Global climatic drivers of leaf size. 2017.

YAN, H.; FENG, L.; ZHAO, Y.; FENG, L.; WU, D.; ZHU, C. Prediction of the spatial distribution of *Alternanthera philoxeroides* in China based on ArcGIS and MaxEnt. 2020. DOI 10.1016/j.gecco.2019.e00856. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419307280>. Acesso em: 09 set. 2022.

ZHANG, Y. et al. Multidecadal trends in global terrestrial evapotranspiration and its components. 2016.

ZORGER, B. B. Respostas funcionais de plantas arbustivo-arbóreas da Caatinga à precipitação e perturbação antrópica crônica. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Recife, 2017.