



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

TAYNARA RABELO COSTA

**MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO E MODELAGEM DE NICHOS
POTENCIAL DE *Holoregmia viscida* Nees, UMA PLANTA ENDÊMICA DA
CAATINGA, EM CENÁRIOS PALEOCLIMÁTICOS E CENÁRIOS FUTUROS DE
AQUECIMENTO GLOBAL**

FORTALEZA

2021

TAYNARA RABELO COSTA

MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL
DE *Holoregmia viscida* Nees, UMA PLANTA ENDÊMICA DA CAATINGA, EM
CENÁRIOS PALEOCLIMÁTICOS E CENÁRIOS FUTUROS DE AQUECIMENTO
GLOBAL

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C876m Costa, Taynara Rabelo.
MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL DE *Holoregmia viscida* Nees, UMA PLANTA ENDÊMICA DA CAATINGA, EM CENÁRIOS PALEOCLIMÁTICOS E CENÁRIOS FUTUROS DE AQUECIMENTO GLOBAL / Taynara Rabelo Costa. – 2021.
75 f. : il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.
1. Espécie endêmica. . 2. IUCN. . 3. MaxEnt. I. Título.

CDD 333.7

TAYNARA RABELO COSTA

MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL
DE *Holoregmia viscida* Nees, UMA PLANTA ENDÊMICA DA CAATINGA, EM
CENÁRIOS PALEOCLIMÁTICOS E CENÁRIOS FUTUROS DE AQUECIMENTO
GLOBAL

Monografia apresentada ao Curso de Graduação
em Ciências Ambientais do Instituto de
Ciências do Mar da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Luís Passos Cordeiro
Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)

Doutorando Mário Sérgio Duarte Branco
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Doutorando Paulo Weslem Portal Gomes
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser meu guia nos momentos difíceis dessa jornada.

À minha família por ser meu alicerce. Em especial à minha mãe, que sempre lutou para proporcionar uma educação para mim e para todos os meus irmãos.

Ao meu querido irmão Thalison Rabelo, pela força, pelos conselhos e pelo apoio durante a pesquisa. Ao meu irmão mais novo, João Paulo, que sempre foi muito carinhoso comigo e sempre me apoiou. À minha querida irmã mais velha pelo seu carinho, apoio e amor. Tenho e sempre terei admiração pela incrível pessoa que é.

À meu orientador, Dr. Marcelo Freire Moro pela disponibilidade e pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa. Levarei sempre comigo cada aprendizado.

À banca examinadora: Dr. Marcelo Freire Moro, Dr. José Luís Passos Cordeiro, Doutorando Mário Sérgio Duarte Branco e Doutorando Paulo Weslem Portal Gomes por aceitarem participar da minha banca e pelas valiosas contribuições feitas ao meu trabalho.

Ao José Luís Passos Cordeiro que sempre esteve disponível a me ajudar, possibilitando a elaboração deste trabalho.

Ao Lucas Peixoto que possibilitou o enriquecimento da minha pesquisa. Sou muito grata pelo auxílio.

Ao meu namorado Edgar Alves, pelo apoio emocional e cuidado comigo durante essa jornada. Obrigada por ser tão paciente e sempre me escutar. Seu apoio foi imprescindível para mim.

Às minhas grandes amigas Brenda Rocha, Janaína Pereira, Lígia Costa e Ravena Santiago por estarem comigo em todas as etapas do curso. Obrigada por me apoiar nos meus momentos difíceis desses quatro anos que passaram voando!

Ao meu melhor amigo Pedro Lucas pelo suporte, e por sempre estar comigo.

Ao meu grande amigo Hugo Albuquerque por sempre ter fé e acreditar no meu potencial.

Ao meu amigo Jefferson Lima pelo auxílio na minha caminhada.

À todo o curso de Ciências Ambientais, levarei comigo todos os aprendizados adquiridos durante esses anos.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de estudar em um curso tão bonito.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente.

What are the choices that we must make if we are now to succeed, and not to fail? [...]
Two types of choices seem to me to have been crucial to tipping their outcomes
towards success or failure: long-term planning, and willingness to reconsider core
values. [...] One of those choices has depended on the courage to practice long-term
thinking, and to make bold, courageous, anticipatory decisions at a time when
problems have become perceptible but before they have reached crisis proportions.
[...] The other crucial choice illuminated by the past involves the courage to make
painful decisions about values. [...] Which of these treasured values must instead be
jettisoned and replaced with different approaches? (DIAMOND, JARED M. Collapse:
How Societies Choose to Fail or Succeed, 2004)

RESUMO

A Caatinga é um domínio fitogeográfico que ocorre exclusivamente no Nordeste brasileiro. Possui diversas espécies endêmicas típicas da região com clima semiárido. Entretanto, toda a sua biodiversidade pode estar ameaçada devido aos impactos gerados pelas rápidas mudanças no clima, e pela fragmentação de habitats. Assim, este trabalho objetivou mapear a distribuição global, modelar o nicho potencial, e avaliar o grau de ameaça à conservação e de *Holoregmia viscida* Nees (Martyniaceae), um gênero monotípico de planta endêmico ao sul do domínio da Caatinga. A modelagem abrangeu cenário de clima atual; três cenários paleoclimáticos: Último Interglacial, Último Máximo Glacial e Holoceno Médio; três cenários de aquecimento global. O grau de ameaça da espécie foi classificado segundo os critérios da IUCN. Além do grau de fragmentação da vegetação na região onde a espécie ocorre. Como resultado da sua distribuição, observou-se que a espécie está restrita ao sul da Caatinga. Para a modelagem de período atual, observou-se um maior potencial de ocorrência da espécie em algumas regiões da Caatinga, não apresentando potencial de ocorrência natural em outros biomas do Brasil. Os modelos climáticos para o Pleistoceno mostraram que o nicho potencial da espécie variou de acordo com a precipitação, onde a maior expansão ocorreu no Último Glacial Máximo e a menor no Holoceno Médio. Os modelos de aquecimento global indicaram uma diminuição considerável de nicho potencial com o aumento de temperatura e redução da precipitação. Além do deslocamento do nicho potencial para áreas mais ao sul. A avaliação a partir dos critérios da IUCN indicou que a espécie possui sua Extensão de Ocorrência disposta em mais de 61.653 km², dessa forma classificada como Menos Preocupante. A avaliação de grau de fragmentação indicou que a espécie está localizada em áreas com alto grau de fragmentação e em parte com nenhuma vegetação remanescente. Dessa forma, salientando a importância das UC's neste bioma. Com os resultados apresentados aqui, é notório a importância de ferramentas de modelagem de nicho ecológico, pois são suportes para planos de conservação da biodiversidade. Além da análise de status categórico como forma de monitoramento para prevenção de extinção de espécies singulares.

Palavras-chave: Espécie endêmica. IUCN. MaxEnt

ABSTRACT

The Caatinga is a phytogeographic domain that occurs exclusively in northeastern Brazil. It has several endemic species typical of the region with a semi-arid climate. However, its entire biodiversity may be threatened due to the impacts generated by rapid changes in the climate and habitats' fragmentation. Thus, this work aimed to map the global distribution, model the potential niche, and assess the degree of threat to conservation of *Holoregmia viscida* Nees (Martyniaceae), a monotypic genus of plant endemic to the south of the Caatinga domain. The modelling covered the current climate scenario; three paleoclimatic scenarios: Last Interglacial, Last Glacial Maximum and Average Holocene; three global warming scenarios. The degree of threat of the species was classified according to IUCN criteria. In addition to the degree of fragmentation of vegetation in the region where the species occurs. As a result of its distribution, it was observed that the species is restricted to south of the Caatinga. For the current period modelling, a more significant potential for the occurrence of the species was observed in some regions of the Caatinga, with no potential for natural occurrence in other biomes in Brazil. The climatic models for the Pleistocene showed that the potential niche of the species varied according to precipitation, where the most significant expansion occurred in the Last Maximum Glacier and the lowest in the Middle Holocene. Global warming models indicated a considerable decrease in a potential niche with increasing temperature and reduced rainfall. In addition, displacement of the potential niche of the species to areas further south was observed. The evaluation based on the IUCN criteria indicated that the species has its Range of Occurrence arranged in more than 61,653 km², thus classified as Least Concern. The evaluation of the degree of fragmentation indicated that the species is located in areas with a high degree of fragmentation and in part with no remaining vegetation. Thus, stressing the importance of UC's in this biome. With the results presented here, the importance of ecological niche modelling tools is notorious, as they are supporting biodiversity conservation plans and categorical status analysis as a form of monitoring to prevent the extinction of distinct species.

Keywords: Endemic species. IUCN. MaxEnt.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de distribuição da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil 36
- Figura 2 – Curvas de resposta das variáveis BIO 12 (Precipitação Anual) e BIO 19 (Precipitação do trimestre mais frio) 38
- Figura 3 – Mapa de nicho potencial do cenário atual (1960 – 1990) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT) 41
- Figura 4 – Mapa de nicho potencial para o cenário Último Período Interglacial (~120 mil anos AP) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT) 43
- Figura 5 – Mapa de nicho potencial para o cenário Último Máximo Glacial (21 mil anos AP) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT) 45
- Figura 6 – Mapa de nicho potencial para o cenário Holoceno Médio (6 mil anos AP) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT) 47

Figura 7 – Mapa de nicho potencial para o cenário de aquecimento global RCP 4.5 da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT)	49
Figura 8 – Mapa de nicho potencial para o cenário de aquecimento global RCP 6.0 da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT)	51
Figura 9 – Mapa de nicho potencial para o cenário de aquecimento global RCP 8.5 da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT)	52
Figura 10 – Mapeamento da distribuição geográfica de <i>Holoregmia viscida</i> Nees pela ferramenta GeoCAT para avaliação da categoria de grau de ameaça à conservação da Lista Vermelha da IUCN. No mapa estão representados a Área de Ocupação (132,000 km ²) e Extensão de Ocorrência (61.653 km ²)	54
Figura 11 – Mapa de distribuição da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees com relação as Unidades de Conservação no estado da Bahia	55
Figura 12 – Pontos de ocorrência da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees e representação da sua Extensão de Ocorrência sobre habitats fragmentados da Caatinga. Os habitats fragmentados da Caatinga estão divididos por classes em hectares representados por cores	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis climáticas obtidas na base de dados do WorldClim (com resolução espacial de 0,04°, equivalente a 5km)	32
Quadro 2 – Modelos de simulação climática utilizadas na obtenção dos dados climáticos para a modelagem de nicho potencial para o Último Interglacial, Último Máximo Glacial e Holoceno Médio	33
Quadro 3 – Classes de adequabilidade ambiental	35
Quadro 4 – Variáveis selecionadas para a modelagem de nicho potencial da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees em cenário paleoclimático, de clima atual e de aquecimento global com respectivo código	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Contribuição de cada variável para modelagem em porcentagem (%)	39
Tabela 2	– Valores obtidos da Área sob a Curva Característica e desvio-padrão relativos à modelagem paleoclimática. Junto do cálculo de área do nicho potencial total, contemplando valores acima do MTP em km ² . Como também, cálculo da área de nicho potencial considerando apenas a Potencial Alto (>0,75) da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees	40
Tabela 3	– Valores obtidos da Área sob a Curva Característica e desvio-padrão relativos à modelagem de clima atual e cenários de aquecimento global. Junto do cálculo de área do nicho potencial total, contemplando valores acima do MTP em km ² . Como também, cálculo da área de nicho potencial considerando apenas Potencial Alto (>0,75) da espécie <i>Holoregmia viscida</i> Nees	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Antes do presente
AOO	Área de Ocupação
EOO	Extensão de Ocorrência
GEE	Gases do Efeito Estufa
GeoCAT	Geospatil Conservation Assentament Tool
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Internacional de Mudanças Climáticas
IUCN	International Union for Conservation of Nature's
MTP	Minimum Training Presence
UC	Unidade de Conservação
UMG	Último Máximo Glacial
LIG	Last Interglacial (Último Interglacial)
RCP	Vias de Concentrações Representativas
SIG	Sistemas de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Do Pleistoceno às mudanças climáticas atuais	18
3.1.1	<i>Aquecimento global antrópico</i>	20
3.2	Modelagem de nicho ecológico	22
3.2.1	<i>Nicho ecológico: uma breve contextualização</i>	22
3.2.2	<i>Técnica de Modelagem de Nicho Ecológico</i>	22
3.3	IUCN: Um mecanismo de conservação ambiental	24
3.4	Caatinga	27
4	METODOLOGIA	29
4.1	<i>Holoregmia viscida</i> Nees	29
4.2	Registros de ocorrência	30
4.3	Avaliação das ameaças à conservação	30
4.4	Modelagem	31
4.4.1	<i>Escolha das variáveis climáticas</i>	31
4.4.2	<i>MaxEnt</i>	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Avaliação de nicho potencial	36
5.1.1	<i>Modelagem de Holoregmia viscida Nees para clima atual</i>	41
5.1.2	<i>Modelagem de Holoregmia viscida Nees para cenários paleoclimáticos</i>	43
5.1.3	<i>Modelagem de Holoregmia viscida Nees para cenários de aquecimento global</i>	48
5.2	Avaliação de status categórico IUCN e grau de fragmentação de habitat nas áreas de ocorrência de <i>Holoregmia viscida</i> Nees	54
6	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	62
	ANEXO A	72
	ANEXO B	73

1 INTRODUÇÃO

A variabilidade climática que vem ocorrendo desde o Quaternário, devido a alternância dos ciclos glaciais e interglaciais, foram responsáveis por modificar inúmeros padrões de ocorrência de espécies no mundo, consequentemente tecendo a distribuição de inúmeras espécies da fauna e flora (HEWITT, 2000).

O Pleistoceno é uma época marcada por períodos de grandes flutuações climáticas, com alternância de períodos glaciais e interglaciais. Um destes últimos momentos está compreendido entre 130.000 a 116.000 mil anos antes do presente, o Último Interglacial (LIG), estabelecido por um aumento na temperatura do planeta semelhantes ao período atual (FAIRBRIGDE, 1972). Bem como o Último Máximo Glacial (UMG – entre 26 a 18 mil anos AP) (CLARK *et al.*, 2009, que foi uma das últimas grandes mudanças no planeta sob distribuição das espécies (MEYER *et al.*, 2014). Durante períodos mais secos, se especula que houve expansão de florestas secas sobre áreas hoje ocupadas por florestas úmidas (PRADO; GIBBS, 2003). Assim, a partir da oscilação climática, espécies e biomas adaptados a climas mais secos como savanas e florestas secas possivelmente se alternavam com as florestas ombrófilas, de modo que os limites entre esses biomas devem ter se alterado várias vezes ao longo do Pleistoceno (HAFFER, 1969).

Apesar da biota do planeta ter se acomodado a mudanças climáticas naturais no passado, as modificações climáticas que estão sendo processadas nas últimas décadas, principalmente após a Revolução Industrial, estão mais rápidas, ocasionadas principalmente pelo aumento acelerado de emissões de gases do efeito estufa através de atividades antrópicas (NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

O elevado aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa altera padrões regionais e até globais de temperatura e precipitação no planeta. Dessa forma, ocasionando alterações nos ecossistemas (IPCC; 2014) e modificando as condições ambientais favoráveis para manutenção da vida na Terra. Assim, as alterações climáticas estão se tornando um fator de séria ameaça à biodiversidade do planeta, prevendo grandes possibilidades de extinção de espécies para as próximas décadas (THOMAS *et al.*, 2004).

Como resposta às mudanças climáticas, as espécies poderiam migrar para locais com condições ambientais favoráveis à sua sobrevivência, consequentemente alterando sua distribuição geográfica. Também podem passar por adequações fisiológicas, tais como mudanças na fenologia que inclui o tempo de floração e frutificação, para se adaptar e tolerar essas novas condições em seu habitat. Entretanto, caso as espécies não consigam migrar ou

adaptar-se a esses fatores, é possível que populações se extingam a nível local ou global (BELLARD *et al.*, 2012). Ao se tratar de espécies endêmicas, essa problemática é ainda intensificada tendo em vista, a distribuição limitada de espécies endêmicas (ISIK, 2011).

As previsões preveem que os impactos frente às mudanças climáticas poderão ocasionar cerca de 5 – 20% de mudanças nos ecossistemas terrestres por razão do aumento da temperatura e diminuição da precipitação (SALA, 2000). Nesse sentido, ambientes semiáridos a áridos tornam-se ecossistemas vulneráveis a essas mudanças no clima devido à baixa disponibilidade de água (IPCC, 2007).

No Brasil, o domínio da Caatinga, situado, em maior parte no Nordeste, é apontado como um ecossistema vulnerável as alterações climáticas, tendo em vista o aumento da aridez para as próximas décadas (IPCC, 2007). Nesse sentido, os impactos das mudanças climáticas poderiam resultar em perda de habitats para as espécies vegetais, além de possíveis processos de desertificação em áreas nesse bioma (SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007). Além dos impactos das mudanças climáticas, esse ambiente semiárido é o terceiro domínio fitogeográfico mais modificado pela ação antrópica, conseqüentemente o terceiro mais fragmentado do país (CASTELLETTI *et al.*, 2003).

Além disso, um estudo utilizando sensoriamento remoto mostrou que o domínio da Caatinga, está atualmente distribuída em 41.700 fragmentos (ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018). Em síntese, a combinação sinérgica da alteração do clima e perda de habitat, pode gerar grandes impactos para as espécies, principalmente sobre a biota endêmica da Caatinga (SILVA *et al.*, 2019).

Dessa forma, para a conservação biológica, precisamos compreender o grau de fragmentação em um habitat e como isso afeta as populações de espécies presentes nele. Visto que, a fragmentação proporciona limitação para sobrevivência de espécies, principalmente, para aquelas de distribuição limitada, gerando flutuações a suas populações e provocando extinções, por isso, avaliar o grau de fragmentação dos ecossistemas onde espécies endêmicas estão distribuídas é uma ferramenta importante (PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

Sob mesmo contexto, os modelos de nicho ecológico (MNE) potencial são técnicas que podem trazer novas abordagem para conservação das espécies. Eles atuam a partir de dados de ocorrência de espécies correlacionados com variáveis abióticas, como precipitação e temperatura, projetando a distribuição de espécies no espaço geográfico, que, por fim, auxiliará na aplicação de estratégia de conservação; na avaliação dos efeitos da perda/ganho de habitats para espécies; na predição dos efeitos das mudanças climáticas projetadas para o futuro e na avaliação dos impactos das oscilações climáticas no passado (WARREN; SERFERT, 2011).

Desse modo, é de grande importância avaliar a distribuição de espécies sob condições climáticas passadas em períodos de grande fluatibilidade climática e sob cenários projetados de aquecimento global para o futuro, com a finalidade de obter respostas sobre os impactos na distribuição do habitat dessas espécies e assim criar medidas para conservação. Logo, os MNE são ferramentas importantes para conservação ambiental, a partir do momento que auxiliam na escolha de áreas prioritárias e na tomada de decisões sobre conservação (TÔRRES; VERCILLO, 2012).

Portanto, o presente estudo visou mapear a distribuição global do gênero *Holoregmia* (família Martyniaceae), um gênero monoespecífico endêmico da Caatinga, bem como avaliar seu status de conservação e fazer a modelagem de nicho ecológico dessa espécie durante o Pleistoceno e sob cenários de aquecimento global. A modelagem para essa espécie abrange a modelagem de nicho potencial baseado no clima atual, bem como para cenários paleoclimáticos, do Último Interglacial, cerca de 120 mil anos antes do presente, do Último Máximo Glacial (21 mil anos AP) e do Holoceno Médio (6 mil anos AP) com o objetivo de investigar os impactos das oscilações climáticas no passado em momentos glaciais e não glaciais. Além da modelagem de aquecimento global em cenários idealizados pelo 5º relatório do IPCC (2014) com objetivo de avaliar os impactos das mudanças climáticas. Ademais, o objetivo do estudo inclui avaliar o status de conservação da espécie seguindo os critérios utilizados pela IUCN e posteriormente avaliar esse status de fragmentação sobre a distribuição dessa espécie.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar o mapeamento da distribuição global conhecida da espécie *Holoregmia viscida* Nees. Identificar as áreas de maior adequabilidade climática da espécie na dinâmica espaço-temporal das áreas projetadas em cenários paleoclimáticos, presente e futuro de mudanças climáticas. Como também, avaliar o status de conservação de acordo com as diretrizes da IUCN e o impacto da fragmentação sobre a espécie.

2.2 Objetivos Específicos

- 1 Mapear a distribuição global conhecida de *Holoregmia viscida* Nees a partir dos dados disponíveis nos herbários.
- 2 Identificar as áreas de maior adequabilidade climática de *Holoregmia viscida* Nees para o clima atual.
- 3 Identificar as áreas de maior adequabilidade climática de *Holoregmia viscida* Nees para o último interglacial, último glacial máximo e holoceno médio.
- 4 Identificar as áreas de maior adequabilidade climática de *Holoregmia viscida* Nees para os cenários climáticos futuros de RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5.
- 5 Avaliar o status de conservação de *Holoregmia viscida* Nees segundo os critérios da IUCN e os impactos da fragmentação sobre essa espécie.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Do Pleistoceno às mudanças climáticas atuais

O Pleistoceno foi uma época do período Quaternário, que se iniciou há cerca de 2,6 milhões de anos, findando no início da época Holocênica, que vai de 11 mil anos atrás até os dias de hoje (LEITE, 2015).

Ao abordar o Pleistoceno, entende-se que foi um período de grandes mudanças na biota do planeta Terra. Isto ocorreu devido aos ciclos glaciais, no qual as geleiras avançavam e o clima se tornava mais frio. Nos períodos interglaciais, o clima esquentava e as geleiras recuavam (BROWN; LOMOLINO, 2006).

A transição entre glaciação e interglaciação no clima terrestre se deram a partir de mudanças periódicas na excentricidade, obliquidade e precessão na órbita da Terra explicadas pela hipótese de Milutin Milankovitch. Tais mecanismos seriam responsáveis pela quantidade de energia solar recebida pela Terra, alterando os efeitos climáticos. Durante os últimos 2 milhões de anos, houve pelo menos dez períodos glaciais principais e nos últimos 400 mil anos, houve quatro ciclos distintos (BROWN; LOMOLINO, 2006; COX; MOORE, 2005; LEITE, 2015).

Hoje há boa evidência de que ao longo das flutuações climáticas do Pleistoceno, espécies e biomas alteraram seus limites, modificando o padrão de distribuição geográfica até chegar no padrão atual (por exemplo: COSTA *et al.*, 2018; BUENO *et al.*, 2017). A partir disso, há uma enorme necessidade de estudar os processos que influenciaram o padrão de distribuição de animais e vegetais, pois assim seria possível compreender as possíveis respostas dos ecossistemas frente as mudanças de precipitação e temperatura no planeta Terra (SIFEDDINE; CHIESSI; CRUZ JÚNIOR, 2014).

Como forma de analisar essas escalas temporais, pesquisadores podem utilizar métodos que abrangem registros sedimentares, históricos, biológicos, a exemplo de registros em ambientes lacustres e marinhos, registros químicos, como depósitos de carbono, corais, testemunhos de gelo, evidências litológicas, dentre outros (BROWN; LOMOLINO, 2006).

O Último Período Interglacial é marcado por um intervalo de tempo entre 130.000 a 116.000 mil anos atrás. Nesse período as temperaturas na superfície terrestre aumentaram significativamente, onde a circulação atmosférica e oceânica estava semelhante ao período atual (FAIRBRIDGE, 1972).

O Último Período Interglacial é marcado por um clima mais quente foi palco para estudos na dinâmica fitogeográfica no Brasil. Haffer (1969) sugeriu que em períodos secos do Pleistoceno e pós-Pleistoceno, a floresta amazônica reduziu sua extensão devido ao clima mais seco e foi fragmentada e, assim, dividida em vários pedaços menores que foram isoladas e envoltas por vegetações sazonais. Com início de períodos úmidos esses fragmentos se reconectaram novamente a partir do momento que as florestas úmidas se expandiram novamente e o clima se tornou inviável para vegetações abertas. Tal teoria explicaria, segundo se pensava, especiações ocorridas em pássaros nessa floresta úmida. Embora a hipótese de Haffer (1969) não seja mais aceita para explicar padrões de diversidade na Amazônia, ela trouxe à época a ideia de que os limites atuais dos biomas não foram estáveis ao longo do tempo e que flutuações climáticas alteraram esses limites. Essa dinâmica de ampliação e retração na distribuição das espécies foi confirmada por alguns estudos, por exemplo, estudos realizados por Leite *et al.* (2016), Bueno *et al.* (2017) e outros.

Muitos estudos em diferentes locais da América do Sul vem apoiando e refutando hipóteses sobre as mudanças ocorridas em momentos de glaciação e interglaciação (por exemplo: COLLEVATI *et al.*, 2013; ARRUDA *et al.*, 2018; MAYLE *et al.*, 2004). Posto isso, com surgimento de modelos computacionais, atualmente é viável a reconstrução climática de diferentes épocas por essas ferramentas como forma de auxiliar o entendimento da dinâmica clima-vegetação.

O Último Máximo Glacial (UMG) foi um período entre 26 e 18 mil anos antes do presente (AP), em que a terra passava por um período de glaciação. Acreditava-se que o clima predominante a 21 mil anos atrás era frio e seco devido a estudos geomorfológicos e palinológicos, surgindo assim muitas teorias sobre os efeitos do clima na vegetação. Embora estudos mais recentes indiquem expansão das florestas úmidas nesse período (eg: Leite *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2018)

O vasto conjunto de espécies estudadas por Prado e Gibbs (1993) em relação a sua distribuição, revelou que diversas espécies são partilhadas entre a Caatinga no Brasil e a floresta seca Chiquitana na Bolívia. Os autores sugerem que, em algum momento de clima mais seco durante o Pleistoceno, as vegetações adaptadas a climas mais secos tiveram vantagens sobre vegetações úmidas, devido suas adaptações à precipitação mais reduzida. Entretanto, estudos realizados por Colinvaux *et al.* (1996) indicaram uma redução da precipitação para o UMG, porém não o suficiente para expansão de vegetação aberta, sugerindo que o clima era frio e úmido.

Com o avanço tecnológico ao longo dos anos, as reconstruções climáticas puderam trazer novas perspectivas sobre o clima do Pleistoceno (ARRUDA; SCHAEFER, 2020). Entretanto, a compreensão da dinâmica da vegetação e a anuência sobre as mudanças climáticas ocorridas durante esse período depende do aumento em estudo nessa área.

Com a chegada do fim do Pleistoceno e início do período Holocênico, há cerca de 11 mil anos, tem-se grandes modificações nas configurações de precipitação e temperatura.

Oliveira, Barreto e Suguio (1999) sugeriram que durante o início do Holoceno até o Holoceno médio (4.000 AP), a Caatinga passou por períodos mais úmidos, estabelecendo os padrões climáticos e de vegetações atuais apenas há cerca de 4.240 mil anos AP, ao analisar uma turfeira no Vale do Rio Icatu, norte da Bahia.

Simulações realizadas por Maksic *et al.* (2018) indicaram que o clima no Nordeste do Brasil estava mais úmido durante o Holoceno devido a migração para latitudes mais baixas da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) corroborando com os resultados de Oliveira, Barreto e Suguio (1999). Ainda sobre o mesmo estudo, o modelo previu expansão de savana aberta e floresta sazonal na Amazônia, indicando que a diminuição de precipitação nessas regiões fora favoráveis para essas fisionomias adaptadas a áreas mais secas sobre a floresta amazônica.

3.1.1 Aquecimento global antrópico

Ao avaliar as mudanças climáticas entre os períodos glaciais e interglaciais, observa-se momentos importantes causadores de alterações na distribuição de biomas e espécies resultantes das flutuações do clima global. Por outro lado, ao olhar para as mudanças climáticas em curso na atualidade, tem-se o homem como agente para os grandes impactos no clima, com efeitos drásticos previstos para as próximas décadas. A Revolução Industrial ocorrida nos meados do século XIX ocasionou um grande aumento de dióxido de carbono na atmosfera. Antes desse momento histórico, os níveis de CO₂ estavam em torno de 180 a 280 ppmv, porém, com os avanços ocorridos no século passado, esse número vem aumentando desde então, atingindo 379 ppmv em 2005. Como consequência, mudanças no globo estão sendo observadas ao longo dos anos: aumento no nível do mar, geleiras diminuindo, padrões de precipitação mudando. O IPCC prevê um aumento nas temperaturas médias de 0,2° C por década. Assim, impactando espécies, ecossistemas inteiros e a humanidade (IPCC, 2007; NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

Thomas *et al.* (2004), ao avaliar a probabilidade de extinção de espécimes sobre condições climáticas adversas, previram que 15-37% das espécies amostradas no estudo podem ser extintas até 2050. Junto de um quadro estarrecedor para o Cerrado no Brasil, onde 34% de todas as espécies serão implicadas a extinção devido a destruição de habitat.

Ao avaliar os modelos de Salazar *et al.* (2007) sobre os impactos das mudanças climáticas, foi observado uma gradativa diminuição de áreas de floresta tropical com aumento de áreas de savanas até o final do século XXI, devido a possíveis reduções de umidade e aumento de períodos de seca. Além disso, esse estudo apontou um possível processo de “aridização” para a região Nordeste.

Projeções para o Domínio da Caatinga, apontam um futuro mais quente, com previsão de aumento de 0.5 a 1°C de temperatura seguido de um decréscimo de precipitação de 10% e 20% até 2040, a partir dessa data um aumento de 1,5° a 2,5°C com diminuição entre 25% e 35% na precipitação no período de 2041 até 2070. E até o final do século XXI as previsões são de 3,5° e 4,5°C com grande diminuição das chuvas para 40 a 50% (SOUZA; MANZI, 2014).

Estudos que buscam modelar os efeitos do aquecimento global sobre a biota são de grande importância para buscar compreender a extensão dos impactos sobre espécies e biomas e, assim, é possível buscar alternativas que possam remediar tais impactos (PAGLIA *et al.*, 2012).

3.2 Modelagem de nicho ecológico

3.2.1 Nicho ecológico: uma breve contextualização

Grinnell (1917) conceituou nicho ecológico como uma área com condições ambientais propícias para distribuição e reprodução de uma espécie. Já Elton (1927) acrescenta ao termo as interações ecológicas das espécies e o nível trófico delas.

Por sua vez, Hutchinson (1957) define o termo nicho ecológico, como um hipervolume multidimensional que representam todas as variáveis que limitam a ocorrência e distribuição de uma espécie, no qual há dimensões representando uma faixa de intervalo de condições ambientais necessárias para que uma espécie possa viver e reproduzir.

Assim, o nicho ecológico inclui o conceito de nicho fundamental, no qual as condições abióticas de temperatura e precipitação determinam a distribuição e sobrevivência das espécies; o nicho realizado representa a extensão do nicho fundamental onde a espécie realmente ocorre, delimitada por fatores bióticos como competição, predação, parasitismo e limitação de dispersão.

3.2.2 Técnica de Modelagem de Nicho Ecológico

O uso de metodologias que ajudam a compreender e prever a distribuição geográfica potencial de espécies vem crescendo a cada ano (LOBO *et al.*, 2010). Devido as suas inúmeras utilidades e aplicações em diversos âmbitos.

Para a modelagem de nicho ecológico, três dados são essenciais: coordenadas geográficas de latitude e longitude de pontos de ocorrência de uma ou mais espécies, variáveis ambientais ou preditoras, tais como dados climáticas, de solo e topografia, a serem analisadas geograficamente, e um modelo matemático que relacione ambos em ambiente de SIG. MaxEnt é um exemplo de algoritmo simples e robusto que pode ser utilizado com poucos dados de ocorrência. Assim, para validar esses modelos, pode ser realizado estimativas simples como de presença ou de ausência e também estimativas como a área sob curva do operado de recepção (AUC), assim, diminuindo erros de omissão ou comissão (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006; RUSHTON; ORMEROD; KERBY, 2004; WARREN; SERFERT, 2011; DALAPICOLLA, 2016).

Warren e Sefert (2011) evidenciaram alguns dos importantes processos em que os modelos de nicho potencial são utilizados: calcular a adequabilidade do nicho de uma espécie.

Com isso, pode-se compreender melhor a distribuição atual de uma espécie, e os fatores limitantes para tal; prever a adequabilidade do habitat em áreas em que a espécie não é encontrada; além de compreender e estimar possíveis mudanças no nicho ecológico da espécie quando modelada em cenários para o passado e para o futuro.

Com isso, é possível compreender as distribuições ecológicas de espécies, ao passo de que isso se torna um importante processo para o planejamento da conservação, além do entendimento dos determinantes ecológicos e evolutivos dos padrões espaciais das espécies (FERRIER, 2002; FUNK; RICHARDSON, 2002; SOHN *et al.*, 2013; SIMÕES *et al.*, 2019)

A modelagem de nicho ecológico tem sido usada para avaliar os possíveis impactos do aquecimento global sobre a biodiversidade, ao estimar reduções, expansões ou deslocamentos em cenários futuros em relação à distribuição atual de determinadas espécies (SILVA *et al.*, 2019), bem como estimar taxas de possíveis extinções (THOMAS *et al.*, 2004). Junto a isso, esses modelos são de grande importância para entender como vetores de doenças podem reagir sobre as mudanças no clima terrestre, pois é de extrema importância para ações de políticas públicas (COSTA; CORDEIRO, 2018).

A modelagem de nicho também pode ser utilizada para avaliar se as áreas de proteção ambiental atuais serão adequadas para resguardar a biodiversidade em razão das mudanças climáticas (MEYER, 2013); além de ser um instrumento que auxilia na compreensão da predição de áreas ideais para plantio (VILLORDON *et al.*, 2006). Outrossim, é importante para compreender a dinâmica das espécies sobre os diversos cenários de mudanças climáticas, e como as espécies invasoras podem se tornar uma ameaça para ecossistemas ou como um ambiente pode-se tornar adequado para elas (SILVA SOBRINHO *et al.*, 2019).

3.3 IUCN: Um mecanismo de conservação ambiental

O planeta passa por uma crise de conservação da biodiversidade, com taxas de extinção devido à ação humana muito maiores que as taxas naturais (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Como forma de compilar as ameaças às espécies e registrar quais espécies estão ou não ameaçadas, foi criada em 1964 a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas, da União Internacional para Conservação da Natureza. Atualmente essa é a fonte mais abrangente sobre status de risco de extinção de animais, fungos e plantas em todo mundo. Ela fornece um conjunto de informações sobre espécies que tenham sido avaliadas, como: distribuição geográfica da espécie, tamanho populacional, habitat, uso e/ou comércio de espécies, dados esses essenciais para tomada de decisões sobre conservação do meio ambiente e para desenvolver estratégias de enfrentamento da atual crise de extinção (IUCN, 1994, 2010; RODRIGUES *et al.*, 2006; VIÉ; HILTON-TAYLOR; STUART, 2009).

Na IUCN, cada espécie é classificada em uma categoria de ameaça, totalizando nove categorias, de acordo com critérios de tamanho populacional, ameaças antrópicas e extensão da sua distribuição geográfica. As categorias são: Não Avaliado, Dados Deficiente, Menos Preocupante, Quase Ameaçado, Vulnerável, Em Perigo, Criticamente em Perigo, Extinto na Natureza e Extinto (IUCN, 2010).

As categorias “Não Avaliado” e “Dados Deficientes” não retratam status de conservação, representando casos onde a espécie não foi ainda avaliada ou onde a quantidade de dados disponíveis é tão restrita que não é possível classificá-la. Não Avaliado significa que uma determinada espécie ainda não foi avaliada de acordo com os critérios da IUCN, já a categoria de Dados Deficientes indica que não há dados suficientes para classificar determinada espécie. Ser Deficiente de Dados não significa que as espécies não estão em risco de extinção. Vié, Hilton-Taylor e Stuart (2009) estimaram que em 2008 cerca de 5.570 espécies classificadas como Deficientes de Dados estão possivelmente ameaçadas.

A categoria “Menos Preocupante” reflete a classificação de um táxon que não se encontra em uma das três categorias de ameaça, geralmente são táxons generalizados e abundantes. Quando um táxon se encontra na categoria de “Quase Ameaçado”, ele não atende apresenta indícios de que está ameaçado atualmente, porém poderá entrar em um critério de ameaça em um futuro próximo. “Vulnerável”, “Em Perigo” e “Criticamente em Perigo” são categorias de ameaça, nas quais os táxons são qualificados por critérios quantitativos de graus de ameaça de extinção. “Extinto na Natureza” significa que o táxon está extinto em seu habitat natural, logo, todas as pesquisas já não registram tal indivíduo e este apenas sobrevive em

cativeiro, ou naturalizado fora da faixa natural. Por fim, a categoria “Extinto” significa que não existem dúvidas de que o último indivíduo morreu. É de extrema importância que ao classificar uma espécie como extinta todos os esforços para registra-la foram utilizados, visto que recursos financeiros e/ou medidas para conservação de espécies não são destinadas às espécies extintas (IUCN, 2019).

Os critérios utilizados para classificar as categorias de ameaça de uma espécie depende de certos parâmetros como: redução populacional, distribuição geográfica e tamanho populacional, divididos em critérios de A até E, no qual há casos de combinação desses critérios (IUCN, 2019).

As divisões em critérios são estabelecidas por:

- A. Redução do tamanho da população (passado, presente e / ou projetado)
- B. Tamanho do intervalo geográfico e fragmentação, poucos locais, declínio ou flutuações;
- C. Tamanho populacional pequeno e em declínio e fragmentação, flutuações ou poucas subpopulações;
- D. População muito pequena ou distribuição muito restrita;
- E. Análise quantitativa do risco de extinção;

Para o critério A, é quantificado (em %) a redução populacional em um determinado período de 10 anos ou três gerações, logo sendo preciso calcular o tempo geracional. O critério B trata-se do tamanho da distribuição geográfica da espécie. Espécies que possuem ampla distribuição geográfica tendem a não ser ameaçadas, porém espécies com distribuição geográfica muito restrita, tendem a ser enquadradas como ameaçadas. Portanto, é necessário se conhecer o tamanho da Extensão de Ocorrência da espécie (EOO), e se possível, conhecer também a Área de Ocupação (AOO). A EOO corresponde à área contida no menor polígono convexo incluindo todos os pontos de ocorrência conhecidos de um táxon; a AOO corresponde a soma da área efetiva de ocorrência do táxon dentro de sua EOO. Para o cálculo de AOO e EOO pode-se usar a ferramenta GeoCAT (Ferramenta de Avaliação de Conservação Geoespacial – disponível em: [GeoCAT \(kew.org\)](http://www.kew.org/Geocat) com dados de ocorrência de espécies a serem avaliadas para a Lista Vermelha.

Para classificar o grau de ameaça de espécies pelo critério C, é preciso conhecer ou estimar os indivíduos maduros de uma população pequena e com fragmentação, declínio ou flutuação. Nesse critério, caso uma população possua menos que 250 indivíduos, pode ser classificado como criticamente ameaçado, com 2.500 é classificado como Em Perigo e com 10.000 é classificado como Vulnerável. Já o critério D é para populações onde pode não haver

declínio populacional, mas há restrição no número de indivíduos maduros, na área de ocupação ou número de localizações. O último critério é baseado em uma Análise de Viabilidade Populacional (PVA) como forma de determinar a probabilidade de extinção da espécie em um dado período de tempo. A categoria Quase Ameaçada é escolhida quando os limites de categoria de ameaça são quase atingidos.

O Índice da Lista Vermelha (RLI), baseado na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN, é um indicador do impacto humano sobre a biodiversidade mundial, pois aponta o estado de mudança de espécies nas categorias de ameaça. Ou seja, RLI é um saldo líquido do número de espécies que muda de categoria entre Vulnerável, Em Perigo e Criticamente em Perigo, quando, por exemplo, há melhorias na conservação e a espécie diminui seu risco de extinção ou quando há um maior declínio populacional e seu risco de extinção aumenta (LUGHADHA *et al.*, 2005).

“Os dados da Lista Vermelha da IUCN são usados para informar o desenvolvimento da legislação nacional, regional e subnacional sobre proteção de espécies ameaçadas, e também o desenvolvimento de estratégias nacionais de biodiversidade e planos de ação” (VIÉ, 2008, p.10, tradução nossa). Portanto, é uma ferramenta mundial de conservação essencial para tomadas de decisões.

3.4 Caatinga

O Domínio Fitogeográfico da Caatinga ocupa uma área de aproximadamente 844.453 km², representando cerca de 10% do espaço territorial brasileiro, englobando trechos dos territórios dos estados nordestinos e parte do norte de Minas Gerais. Ocupa cerca de 54% da Região Nordeste, sendo localizada nas latitudes subequatorial compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' (IBGE, 2007; PRADO, 2003).

De forma geral, a caatinga é caracterizada como uma vegetação xerófila, com plantas decíduas e espinhosas, com espécies suculentas, e variando o porte de arbóreo a arbustivo, com presença de cactáceas e bromeliáceas (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). Essa variação na fisionomia da vegetação depende muito do regime de chuvas e do tipo de solo (PRADO, 2003).

Segundo Ab'Saber (2003), cerca de 92% do território brasileiro é regido por climas úmidos e subúmidos intertropicais e subtropicais, porém a Caatinga, apesar de estar localizada próximo às áreas equatoriais, apresenta clima semiárido. Fatores como a forte entrada de energia solar e baixas precipitações distribuídas de forma irregular durante o ano, contribuem para o clima ímpar da região Nordeste. Além disso, o clima no Nordeste está ligado a fatores geomorfológicos, como as amplas planícies da região Nordeste, junto de superfícies que alcançam de 800 m a 1.200 m como Borborema, Araripe e Diamantina, junto de quatro principais sistemas de circulação atmosférica (NIMER, 1989).

A precipitação média anual na Caatinga é inferior a 1.000 mm e esse valor diminui para 750 mm em quase 50% do território. Além disso, a precipitação está concentrada em poucos meses, correspondendo ao verão (AB'SABER, 2003). O período seco é longo e pode durar de 8 a 11 meses (IBGE, 2004). Em relação a temperatura média anual, a Região Nordeste não possui grandes amplitudes térmicas, estando em torno de 26° C a 28°C (NIMER, 1989).

A vegetação típica de caatinga, com seu caráter decíduo, resulta de um conjunto de fatores: maior radiação solar, menor nebulosidade, temperatura média anual alta, maior evapotranspiração, baixos índices de precipitações, concentradas em um pequeno período de tempo no ano (REIS, 1976, *apud* PRADO, 2003). Entretanto, apesar da caatinga possuir alto endemismo e grande diversidade de espécies abrigando cerca 3347 espécies de plantas, 510 espécies de aves, 153 de mamíferos, 112 de serpentes (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020; GARDA *et al.*, 2017; GUEDES; NOGUEIRA; MARQUES, 2014 SILVA *et al.*, 2008; PAGLIA *et al.*, 2012), é um ambiente que se encontra com aproximadamente 12,8 % de sua área legalmente protegida (TEIXEIRA *et al.*, 2021, no prelo). Além disso, cerca de 30,4% a

51,7% da área da Caatinga já foi alterada por atividades antrópicas (CASTELLETTI *et al.*, 2003).

A degradação do solo no semiárido brasileiro é outra questão de enorme importância, já que o cerca de 15% de áreas da caatinga já estão desertificadas (DRUMOND *et al.*, 2000). Os impactos são sentidos ainda mais sobre comunidades com espécies endêmicas, reduzindo tais habitats, conseqüentemente contribuindo para homogeneização de espécies de plantas e animais (BURLAKOVA *et al.*, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 *Holoregmia viscida* Nees

Holoregmia viscida Nees é uma espécie endêmica do Domínio da Caatinga, pertencente à Martyniaceae, da ordem das Lamiales. Martyniaceae possui distribuição neotropical com cinco gêneros e 16 espécies. O gênero *Proboscidea* possui uma única espécie no Peru, e oito subespécies; já *Martynia* apenas uma espécie, *Martynia annua* L., que ocorre no México e Caribe. No hemisfério sul há os gêneros *Craniolaria* e *Holoregmia*. *Holoregmia* tem apenas uma espécie, *Holoregmia viscida* Nees, a qual é objeto deste estudo e possui distribuição restrita ao sul do Domínio da Caatinga, conhecida apenas no estado da Bahia. Essa espécie pode ser encontrada na Caatinga arbustiva a arbórea, sendo localizada também em locais antropizados e beiras de estradas. É caracterizada como um arbusto a arvoreta podendo chegar a 3 metros, difere de outras espécies da família por possuir hábito lenhoso ao invés de herbáceo (GIULIETTI; HARLEY, 2013; IHLENFELDT, 2003).

No estado da Bahia, a espécie é encontrada no Domínio da Caatinga, na ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional, bem como nas bordas da Chapada Diamantina, associada ao solo do tipo areno-argiloso e litólito, na qual a partir das observações Giulietti e Harley (2013), descobriu-se que a espécie tem ocorrência associada aos Rio de Contas e ao norte do rio Paraguaçu, ambos com nascentes nas montanhas da Chapada Diamantina.

Os registros de ocorrência de *Holoregmia viscida* Nees são de populações com poucos indivíduos, e sua população é normalmente encontrada com indivíduos distantes um dos outros. A floração dessa espécie possui um período longo, compreendido entre os meses de agosto e novembro a março, relacionada sempre a períodos úmidos, pois em períodos de seca forte a espécie perde suas folhas, que rebrotam com as chuvas. Sua flor é grande e de cor amarelada, com estrias vermelho-púrpura (ANEXO 1). Localmente, é conhecida como fruto-de-são-cipriano (GIULIETTI; HARLEY, 2013).

Dentre os cinco gêneros dessa família do Novo Mundo, a espécie *Holoregmia viscida* Nees foi coletada primeiramente pelo príncipe Maximilian von Wied e teve sua descrição formalizada por Nees em 1821 (HARLEY; GIULIETTI; SANTOS, 2003). Entretanto, *H. viscida* passou quase 100 anos sem ser coletada ou sendo registrada nos herbários erroneamente. Após os anos 2000, a espécie passou ter uma maior visibilidade. De acordo com Giulietti e Harley (2013), mesmo com o pouco conhecimento antes do ano 2000, alguns

herbários da Bahia tinham espécimes de *H. viscida* coletados, porém identificados erroneamente ou sem identificação de família.

Fatores como, o endemismo do gênero *Holoregmia* em relação aos outros membros da família sugerem que o gênero pode ser o mais primitivo da família (HARLEY; GIULIETTI; SANTOS, 2003; IHLENFELDT, 2003). Além disso, estudos realizados por (QUEIROZ, 2017) estimaram que a divergência da espécie das outras da mesma família ocorreu há cerca de 9,4 milhões de anos.

4.2 Registros de ocorrência

Para mapear a distribuição global de *Holoregmia viscida* Nees, obtivemos os registros de ocorrência da espécie, através de consultas às coleções de herbários disponibilizadas on-line através do Herbário Virtual do banco de dados do SpeciesLink (speciesLink Network (splink.org.br)). Após isso, o colaborador Moabe Fernandes verificou nos herbários físicos da Bahia todos os registros, bem como no herbário virtual por meio de fotos e validou um a um os registros, no qual posteriormente foram plotados e analisados em uma planilha eletrônica. Durante a validação dos dados, os pontos de ocorrência foram conferidos geograficamente por meio do software Google Earth. Pontos de ocorrência duvidosos, com localidade incompleta ou errada, assim como registros repetidos, foram excluídos da pesquisa.

As coordenadas de espécimes sem georreferenciamento original tiveram suas coordenadas estimadas usando a ferramenta geoLoc do SpeciesLink e coleções sem coordenadas GPS foram mapeadas usando a localização geográfica do município, gerando assim um ponto aproximado de ocorrência para a espécie.

4.3 Avaliação das ameaças à conservação

Para avaliação de status de conservação da *Holoregmia viscida* Nees, foram considerados os critérios de classificação da IUCN (IUCN, 2010). Baseados no critério B, que está relacionado ao cálculo do tamanho da área de ocorrência da espécie, calculamos a Extensão de Ocorrência (EOO) e da Área de Ocupação (AOO) da espécie. Para ambos os cálculos, usamos a ferramenta SIG GeoCAT (BACHMAN *et al.*, 2011).

Avaliamos os impactos da fragmentação assomada no Domínio Fitogeográfico da Caatinga sobre o habitat da espécie *Holoregmia Viscida* Nees. Para tal, foram utilizados os

dados de fragmentação da Caatinga gerados no trabalho de Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018), que computou quanto sobrou da cobertura vegetal do Domínio da Caatinga e o grau de fragmentação da mesma em toda a extensão deste Domínio. As classes de tamanho dos fragmentos variaram desde tamanhos menores que 50 hectares a fragmentos grandes, acima de 100.000 hectares. Desta forma, foi criado um mapa, através do ArcMap 10.5, relacionando a EOO da *H. viscida* com as áreas fragmentadas por hectare da Caatinga. Além disso, foi realizado um cálculo do tamanho médio dos fragmentos e porcentagem de áreas com vegetação dentro da EOO da espécie.

4.4 Modelagem

4.4.1 Escolha das variáveis climáticas

O WordClim (WorldClim) é uma ferramenta que fornece dados de variáveis climáticas globais a partir da precipitação e temperatura, possuindo 19 variáveis climáticas disponibilizadas para download em formato raster (QUADRO 1), além da variável topográfica, representada pela altitude. Essas variáveis climáticas são médias de valores de precipitação mensal e temperatura mínima, média e máxima obtidos durante os anos de 1960 a 1990 (HIJMANS *et al.*, 2005).

As variáveis utilizadas para modelagem de clima atual (QUADRO 1) foram adquiridas a partir do Worldclim (v. 1.4) com resolução espacial de 0.04°, aproximadamente 5 km (HIJMANS *et al.*, 2005). Como forma de evitar possíveis erros de sobreajuste nos modelos de distribuição devido à existência de variáveis climáticas altamente correlacionadas, nós avaliamos a autocorrelação entre todas as 19 variáveis bioclimáticas usando o teste de correlação de Pearson em ambiente R de análise de dados (<http://www.rstudio.com/>). Quando duas variáveis bioclimáticas possuíam correlação maiores que 0.75, nós selecionamos uma delas (aquela que consideramos mais importante biologicamente) para permanecer na modelagem e retiramos a outra. Com isso, criamos o modelo de distribuição potencial para o clima presente para nossa espécie foco. Após isso, projetamos o modelo de distribuição potencial para cenários paleoclimáticos e para cenários futuros de aquecimento global, ambos disponibilizados pelo WorldClim.

Para projeção climática de aquecimento global, foram utilizadas as mesmas variáveis usadas na criação do modelo de distribuição potencial do presente. Os cenários de aquecimento global são estimados em relação às condições climáticas da Terra a partir do 5°

Relatório de Mudanças Climáticas, realizado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014). Esses relatórios apresentam cenários, chamados de Vias de Concentrações Representativas (RCP), com bases em cenários da evolução socioeconômica prescrita, tendo condições distintas de emissão de gases do efeito estufa até o ano de 2100 (ano limítrofe para o século corrente).

Os cenários RCP's são divididos em quatro (RCP 2.6; 4.5; 6.0 e 8.5 W/m²) indo de previsões de menor ou de maior emissão, de acordo com o balanço de energia que incide no planeta, variando conforme as políticas climáticas que serão adotadas. Cada RCP possui um período de pico de saturação desses gases, de onde eles então declinam, criando um panorama de aumento na temperatura da Terra. O RCP 2.6 representa um cenário onde a humanidade emitirá emissões mais baixas; RCP4.5 emissões intermediárias-baixas; RCP 6.0 emissões intermediárias; por último o representa altas taxas de emissões (BRASIL, 2016). Neste trabalho, utilizamos os cenários RCP 4.5, RCP 6.0 e o RCP 8.5. Para as projeções de cenário RCP 4.5, 6.0 e 8.5 para o futuro foi selecionado o modelo global HadGEM2-ES.

Quadro 1 – Variáveis climáticas obtidas na base de dados do WorldClim (com resolução espacial de 0,04°, equivalente a 5km).

Variáveis	Variável Ambiental
Bioclimática	BIO 1 Temperatura média anual
Bioclimática	BIO 2 Faixa diurna média
Bioclimática	BIO 3 Isotermalidade
Bioclimática	BIO 4 Sazonalidade da temperatura
Bioclimática	BIO 5 Temperatura máxima do mês mais quente
Bioclimática	BIO 6 Temperatura mínima do mês mais frio
Bioclimática	BIO 7 Faixa anual de temperatura
Bioclimática	BIO 8 Temperatura média do trimestre mais úmido
Bioclimática	BIO 9 Temperatura média do trimestre mais seco
Bioclimática	BIO 10 Temperatura do trimestre mais quente
Bioclimática	BIO 11 Temperatura média do trimestre mais frio
Bioclimática	BIO 12 Precipitação Anual
Bioclimática	BIO 13 Precipitação do mês mais chuvoso

Bioclimática	BIO 14 Precipitação do mês mais seco
Bioclimática	BIO 15 Sazonalidade da precipitação
Bioclimática	BIO 16 Precipitação do trimestre mais chuvoso
Bioclimática	BIO 17 Precipitação do trimestre mais seco
Bioclimática	BIO 18 Precipitação do trimestre mais quente
Bioclimática	BIO 19 Precipitação do trimestre mais frio
Topográfica	Altitude

Fonte: Adaptado de HIJMANS *et al.* (2005).

Para a análise da paleodistribuição de *Holoregmia viscida* Nees ao longo do Pleistoceno e Holoceno, usamos modelos paleoclimáticos fornecidos pelo WorldClim (QUADRO 2). Todos são modelos disponibilizados pelo WordClim (www.worldclim.org) (HIJMANS, 2005). Para o Último Interglacial a resolução disponível era de 30°, assim foi preciso através do Arcgis, utilizando a ferramenta Resample function, aumentar a resolução dos pixels como forma de ser condizente com a resolução de espacial de 0.04°.

Quadro 2 – Modelos de simulação climática utilizadas na obtenção dos dados climáticos para a modelagem de nicho potencial para o Último Interglacial, Último Máximo Glacial e Holoceno Médio.

Período	Modelos
Último Interglacial	Otto-Bliesner et al., (2006), com resolução de 30 arco-segundo (~1 km)
Último Máximo Glacial	CCSM4
Holoceno Médio	CCSM4

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

4.4.2 Maxent

A princípio, foi utilizado a ferramenta *extract by mask* agregada ao software ArcGis 10.5 para fazer o recorte do Brasil, buscando focar somente na área de interesse. A modelagem de nicho ecológico foi executada no Algoritmo de Máxima Entropia- MAXENT, versão 3.4.1, com finalidade de avaliar a adequação ambiental da espécie *Holoregmia viscida* Nees, bem como a projeção de nicho ecológico para três cenários no passado: Último Interglacial, Último

Máximo Glacial, Holoceno médio e em cenário de clima aquecimento global (RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5).

O MaxEnt é um programa reconhecidamente simples, preciso e robusto, que se baseia no princípio de entropia máxima ao utilizar dados apenas de presença e variáveis ambientais para encontrar o nicho ecológico de uma espécie. Este software pode ser utilizado para estimar a distribuição geográfica potencial de quaisquer espécies, possuindo melhor desempenho comparada com outros softwares que utilizam apenas dados de presença (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006; PHILLIPS; DUDI, 2008).

O princípio da máxima entropia é estimar, a partir dos valores empíricos obtidos através dos pontos de ocorrência, a distribuição de probabilidades mais próxima à distribuição uniforme sob os valores esperados para cada variável ambiental. Dessa forma, a área de estudo é composta por pixels, e aqueles que possuem os registros de ocorrência da espécie estudada constituem os pontos da amostra e os recursos são as variáveis retiradas de bases de dados, podendo estas, serem climáticas, de elevação, categoria do solo, tipo de vegetação, dentre outras (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

Na modelagem, os pontos foram separados em um grupo de treinamento (80% dos 34 pontos de ocorrência amostrados), e um grupo de teste ou validação (20% dos 34 pontos de ocorrência amostrados), para calibrar, otimizar e avaliar a qualidade dos modelos gerados. O procedimento foi repetido 33 vezes, para todos os cenários trabalhados. Além disso, foi utilizado o formato de saída do cloglog. Como forma de reduzir os erros de viés, foi adicionado à modelagem ambiental um bias file de 500 km (MEROW; SMITH; SILANDER, 2013).

Para avaliar os modelos melhor ajustados foi utilizado a AUC (Áreas sob a Curva Característica) do operador (ROC). Este modelo varia de 0 a 1 e serve como uma medida da capacidade do modelo de discriminar locais com base na presença e ausência de espécies. Logo, é uma forma de estimar a qualidade do modelo. Portanto, valores mais próximos de 1 mostram modelos melhor ajustados aos dados (FAWCETT, 2003; FIELDING; BELL, 1997; PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

A adequação ambiental da espécie foi analisada no software ArcGIS 10.5, baseando-se nos valores de Minimum Training Presence (MTP), no qual avalia área mínima prevista possível enquanto mantém uma taxa de omissão zero para os dados de treinamento e teste, sendo representado nos mapas por meio de escala de cor, onde o tom mais escuro constitui o maior padrão de adequabilidade para a espécie.

Foi utilizado a ferramenta *reclassify* para estabelecer quatro classes de adequação climática variando de 0 a 1: (i) Potencial Baixo (valor de adequação de pixel < MTP); (ii)

Potencial Moderado (valor de pixel entre MTP e 0.50); (iii) Potencial Bom (valor de pixel entre 0.50 a 0.75); (iv) Potencial Alto (valor de pixel acima de 0.75), apresentadas no quadro 3. Foi realizado o cálculo da área de nicho potencial para cada cenário, primeiro considerando a adequabilidade total, logo, valores considerados acima do MTP, do Potencial Moderado a Potencial Alto, e segundo, realizado um cálculo considerando adequabilidade acima de 75% (Potencial Alto). Dessa forma, é possível avaliar tanto o ganho/perda total de nicho potencial de espécie, quanto apenas o ganho/perda para potencial alto.

Posteriormente, os mapas de nicho potencial foram confeccionados a partir do resultado da classificação ambiental de classes, e plotados sobre o shapefile dos limites entre os biomas brasileiros, conforme delimitados pelo IBGE (2004). Utilizamos esse shapefile de biomas para modelagem e a avaliação de fragmentação, devido aos dados disponibilizados por Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018).

Quadro 3 – Classes de adequabilidade ambiental.

Potencial	Classes
Potencial Baixo	0 – MTP
Potencial Moderado	MTP – 0.50
Potencial Bom	0.50 – 0.75
Potencial Alto	0.75 – 1

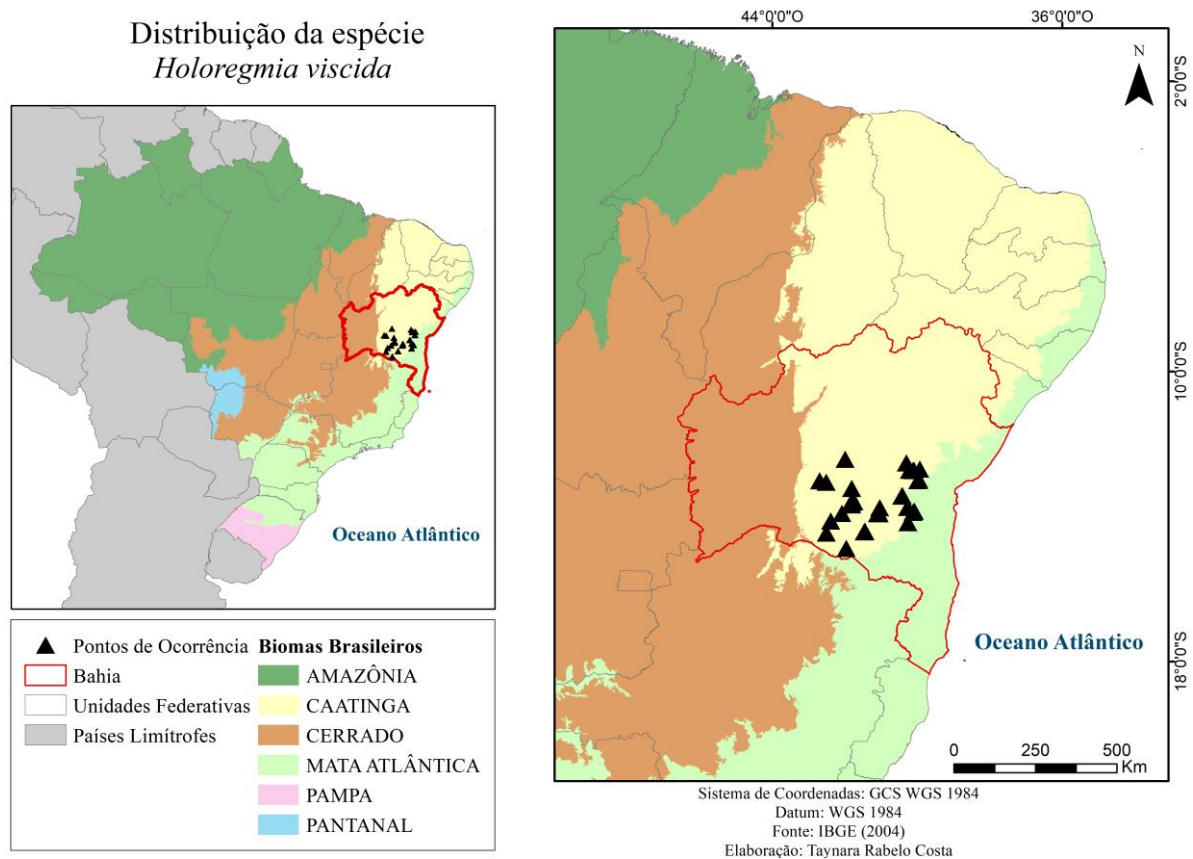
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação de nicho potencial

Mapeamos nesse estudo a distribuição atualmente conhecida de *Holoregmia viscida* Nees. Após validação dos registros de ocorrência que eram reportados no herbário virtual do SpciesLink, retivemos 34 pontos de ocorrência confirmados, com amostras da espécie depositadas em 10 herbários. O mapa de distribuição global que geramos para a espécie confirma que esta é uma espécie endêmica da parte sul do Domínio da Caatinga, associada principalmente à região da borda da chapada diamantina (FIGURA 1).

Figura 1 – Mapa de distribuição da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínio Fitogeográficos do Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Com relação a modelagem de nicho potencial, as 19 variáveis, a maioria era autocorrelacionada nos pontos de ocorrência de *H. viscida* Nees, assim retivemos apenas seis variáveis para modelagem de nicho potencial, sendo elas: BIO 7 (Faixa Anual de Temperatura), BIO 10 (Temperatura trimestre mais quente), BIO 12 (Precipitação Anual), BIO 18 (Precipitação do trimestre mais quente), BIO 19 (Precipitação do trimestre mais frio) e altitude (QUADRO 4).

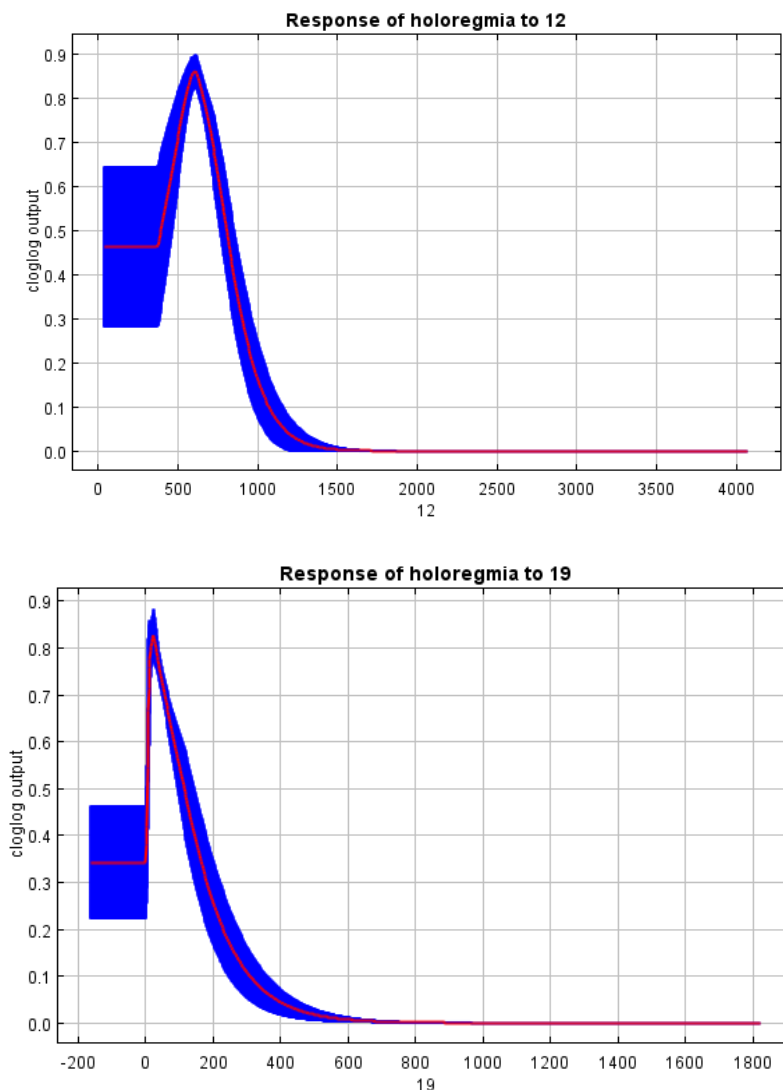
Quadro 4 – Variáveis selecionadas para a modelagem de nicho potencial da espécie *Holoregmia viscida* Nees em cenário paleoclimático, de clima atual e de aquecimento global com respectivo código.

Variáveis (Código)	Variáveis
BIO 7	Faixa anual de temperatura
BIO 10	Temperatura do trimestre mais quente
BIO 12	Precipitação Anual
BIO 18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO 19	Precipitação do trimestre mais frio
Altitude	Altitude

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No tocante aos resultados do modelo, as variáveis utilizadas na modelagem que tiveram a maior contribuição para a distribuição da espécie indicado pelo teste Jackknife, foram: a Precipitação anual (BIO12) e Precipitação do trimestre chuvoso (BIO19) (FIGURA 2). O Anexo B apresenta todas as curvas respostas das variáveis utilizadas na modelagem da espécie *Holoregmia viscida* Nees.

Figura 2 – Curvas de resposta das variáveis BIO 12 (Precipitação Anual) e BIO 19 (Precipitação do trimestre mais frio).



Fonte: MaxEnt.

A variável 12, apresentada na Figura 2, correspondente a precipitação anual, demonstrou que a espécie *Holoregmia viscida* Nees ocorre em áreas onde a precipitação está entre as faixas de 500 a 1000 mm, como mostra a curva em vermelho. Porém, a partir de

precipitações acima de 1000 mm a espécie passa a ter probabilidade de ocorrência reduzida. A variável BIO 19 revelou que uma precipitação acima de 400 mm durante um trimestre chuvoso é limitante para sua ocorrência. Portanto, entende-se que áreas muito chuvosas não são adequadas para a espécie, pois está adaptada a climas semiáridos sazonais da Caatinga. Além disso, variáveis que se relacionam melhor com a adequabilidade da espécie são aquelas ligadas à precipitação. A contribuição individualizada em percentual de cada variável, junto do percentual destas tomadas conjuntamente estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Contribuição de cada variável para modelagem em porcentagem (%).

Variáveis	Percentual de contribuição	Percentual de importância
BIO 12 – Precipitação Anual	71.8	77.1
BIO 19 – Precipitação do trimestre mais frio	7.5	12.6
BIO 7 – Faixa anual de temperatura	6.6	4
BIO 10 – Temperatura do trimestre mais quente	6.4	0.5
BIO 18 – Precipitação do trimestre mais quente	5.6	5.3
Altitude	2	0.5

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados do AUC (Áreas sob a Curva Característica) do operador (ROC) de todos os cenários modelados são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3, junto dos valores de desvio-padrão dos modelos. Além disso, estão apresentados a área total (km²) de nicho potencial da espécie, considerando as áreas acima do Minimum Training Presence (MTP), para cada cenário. Portanto, para o cálculo da área total, foi considerado apenas pixels que tinham Potencial Moderado a Potencial Alto. Ainda assim, calculamos área total (km²) de nicho potencial para cada cenário considerando adequabilidade acima de 75% (Potencial Alto). Os modelos gerados apresentaram valores de AUC elevados, em torno de 0.99.

Tabela 2 – Valores obtidos da Área sob a Curva Característica e desvio-padrão relativos à modelagem paleoclimática. Junto do cálculo de área do nicho potencial total, contemplando valores acima do MTP em km². Como também, cálculo da área de nicho potencial considerando apenas a Potencial Alto (>0,75) da espécie *Holoregmia viscida* Nees.

	Último Interglacial	Último Máximo Glacial	Holoceno Médio
AUC	0.992	0.991	0.992
Desvio – Padrão	0.002	0.002	0.002
Área (>0,75)	107.705,64 km ²	135.652,15 km ²	21.103,33 km ²
Área Total (> MTP)	530.707,44 km ²	481.806,35 km ²	219.512,94 km ²

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 3 – Valores obtidos da Área sob a Curva Característica e desvio-padrão relativos à modelagem de clima atual e cenários de aquecimento global. Junto do cálculo de área do nicho potencial total, contemplando valores acima do MTP em km². Como também, cálculo da área de nicho potencial considerando apenas Potencial Alto (>0,75) da espécie *Holoregmia viscida* Nees.

	Clima Atual	RCP 4.5	RCP 6	RCP 8.5
AUC	0.992	0.992	0.962	0.991
Desvio – Padrão	0.002	0.002	0.168	0.003
Área (>0,75)	90.321,42 km ²	40.740,27 km ²	35.682,27 km ²	38.062,51 km ²
Área Total (>MTP)	439.833,46 km ²	264.886,17 km ²	241.487,61 km ²	322.871,21 km ²

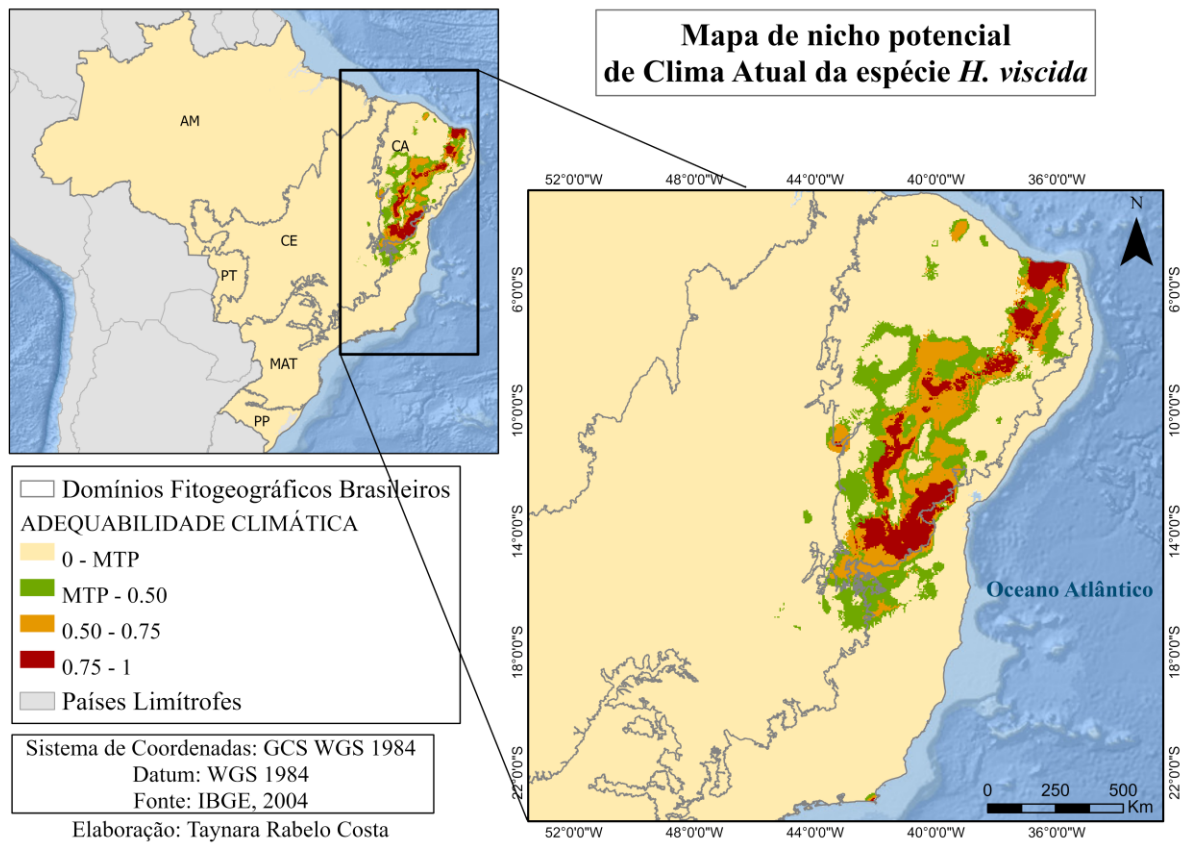
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Foram criados um total de sete modelos finais para a distribuição da *Holoregmia viscida* Nees: um modelo de distribuição de nicho potencial para as condições atuais (FIGURA 3), três modelos de distribuição de nicho potencial para o Último Período Interglacial (FIGURA 4), Último Máximo Glacial (FIGURA 5) e para o Holoceno Médio (FIGURA 6) e três modelos de cenário de mudanças climáticas futuras: RCP 4.5 (FIGURAS 7), RCP 6 (FIGURA 8) e RCP 8.5 (FIGURA 9). Em nossos mapas, representamos na cor verde pixels com Potencial Moderado (MTP – 0.50), na cor laranja pixels com Potencial Bom (0.50 – 0.75) e, por último, a cor vermelha representou no mapa pixels de Potencial Alto de adequabilidade climática (0.75 – 1%) para a espécie. Ou seja, a modelagem revelou a extensão do espaço geográfico com áreas climaticamente propícias para ocorrência da espécie.

5.1.1 Modelagem de *Holoregmia viscida* Nees para clima atual

O processo de modelagem de nicho potencial da espécie sob as condições climáticas atuais, revelou uma área total equivalente a 439.833,46 km² (Considerando valores acima do MTP) e um total de 90.321,42 km² (Potencial Alto – áreas em vermelho) (FIGURA 3).

Figura 3 – Mapa de nicho potencial do cenário atual (1960 – 1990) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O mapa de modelagem de clima atual representa o nicho potencial da espécie *Holoregmia viscida* Nees. As áreas com maior adequabilidade climática para ocorrência da espécie, estão fortemente associadas a áreas de clima semiárido do Domínio da Caatinga ou a seus ecótonos. Há forte concentração de áreas adequadas no estado da Bahia, exatamente nas áreas com distribuição atual conhecida, mas há também áreas de elevada adequabilidade no estado do Rio Grande do Norte. Como atribuído a tabela 3, a modelagem para o clima atual

mostrou que 10,7% da extensão atual da Caatinga (844.453 km²) tem alta adequabilidade para a ocorrência de *H. viscida*.

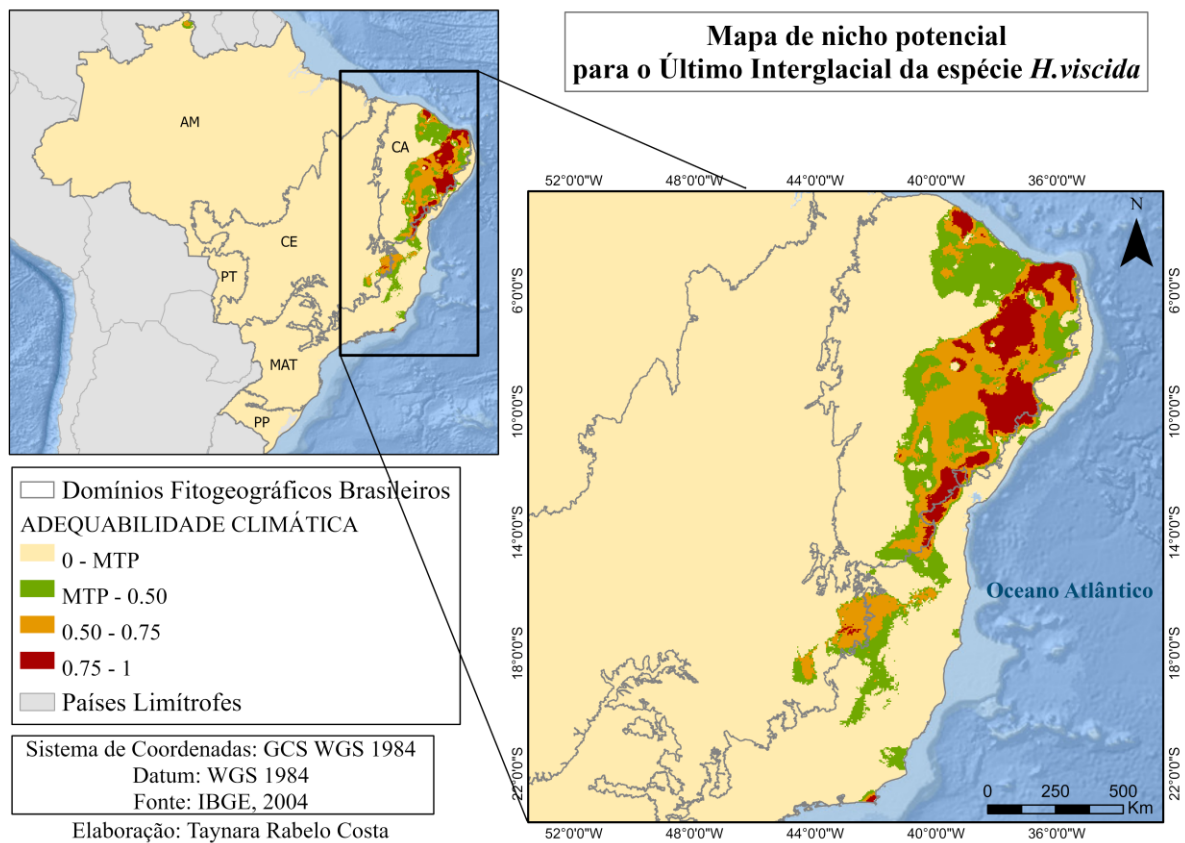
Holoregmia viscida Nees apresentou habitats adequados para sua sobrevivência em outros estados do Nordeste, são eles: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí. A modelagem também apresentou locais com Potencial Alto de ocorrência no estado do Rio de Janeiro, associada a Cabo Frio, região mais seca dentro dos limites da Mata Atlântica, embora seja improvável que a espécie ocorra lá atualmente. De fato, Cabo Frio possui uma vegetação xerófila em meio à Mata Atlântica (BOHRER *et al.*, 2009).

O surgimento de áreas de Potencial Alto apresentado na modelagem situados no nordeste da Caatinga, provavelmente, está relacionada a uma região menos árida por estar próximas a costa, como apresentado no estudo de Silva *et al.* (2019). Portanto, por meio da modelagem observou-se que o nicho potencial da espécie é de fato restrito a Caatinga, não apresentando potencial de ocorrência em outros domínios fitogeográficos do Brasil. Além disso, conclui-se que a ocorrência da espécie é restrita às regiões semiáridas, sendo que ambientes mais úmidos não parecem adequados à sobrevivência da espécie.

5.1.2 Modelagem de *Holoregmia viscida* Nees para cenários paleoclimáticos

Para a modelagem paleoclimática do Pleistoceno com relação ao Último Interglacial (FIGURA 4), *Holoregmia viscida* Nees apresentou um total de 530.707,44 km², considerando todo nicho potencial acima do Potencial Moderado, e cerca de 107.705,64 km² para o Potencial Alto.

Figura 4 – Mapa de nicho potencial para o cenário Último Período Interglacial (~120 mil anos AP) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A partir dos resultados obtidos, foi aferido que o nicho potencial da *Holoregmia viscida* Nees durante o LIG não esteve restrito apenas ao domínio da Caatinga. Além disso, houve distribuição do nicho Potencial Alto associado principalmente a região limítrofe entre Caatinga – Mata Atlântica.

O modelo LIG apontou áreas de Potencial Bom e Potencial Moderado além dos limites da Caatinga. Uma delas está em uma região hoje ocupada pelo Cerrado, onde atualmente se encontra o estado de Roraima, bem como uma área do Cerrado de Potencial Alto próxima Mata Atlântica ao sul da Caatinga (FIGURA 4). Além disso, o resultado apresentou adequabilidade em um enclave situado na Mata Atlântica, onde atualmente, situa-se uma área seca, chamada Cabo Frio, onde há presença de fisionomias da caatinga, principalmente xerófitas, associadas provavelmente as flutuações climáticas durante o Pleistoceno que favoreceram a expansão de espécies pertencentes as caatingas no litoral (AB'SABER, 1977 *apud* BOHRER *et al.*, 2009).

Vale destacar que além do nicho fundamental, fatores bióticos e abióticos, que vão além das condições climáticas, como interações interespecíficas entre espécies (competição e predação), dificuldade na dispersão da espécie em questão, condições edáficas, são fatores limitantes para expansão da *Holoregmia viscida* Nees para além da distribuição atual, até os limites ao norte de Roraima, no Cerrado e para as áreas de enclave na Mata Atlântica como apresentado no modelo LIG. Dessa forma, essas áreas, nesse trabalho, foram consideradas erros de comissão, assim, devido os fatores externos as condições climáticas, a probabilidade de ocorrer exemplares nesses ambientes é pequena.

Em contrapartida, não é excluída a possibilidade de que durante o Último Interglacial pode ter havido exemplares dessa espécie em regiões ecotonais da Caatinga e da Mata Atlântica, dependendo das flutuações climáticas favoráveis para garantir sobrevivência dela nessas áreas.

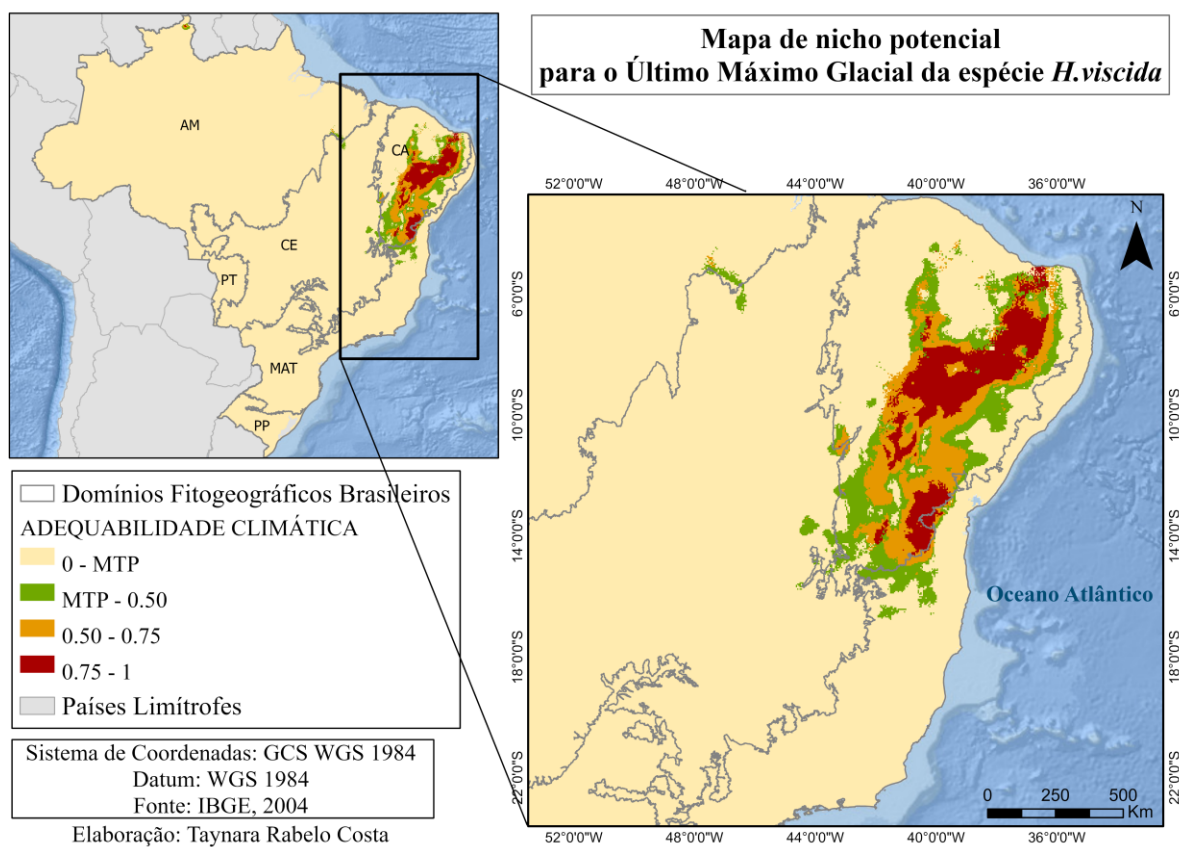
A partir desse resultado, pode-se presumir que durante o LIG, período esse, quente ou mais quente que o período atual, foi favorável para ocorrência da espécie em regiões entre vegetação seca e vegetação úmida, possibilitando uma ampla distribuição dela desde dos estados ao norte do domínio da Caatinga ao sul da Bahia.

Durante o Último Período Interglacial (~ 120 mil anos até o presente) a espécie estudada provavelmente possuía uma grande extensão geográfica com nicho potencial adequado, possivelmente possibilitando sua migração para diferentes áreas dentro da Caatinga. Dependendo das condições bióticas e abióticas ao longo das flutuações climáticas até o atual período, a espécie poderia estar em regiões além da sua ocorrência atual.

Durante a última grande flutuação climática, o Último Máximo Glacial (FIGURA 5), que ocorreu há cerca de 21 ka AP, detectamos grandes diferenças no nicho potencial de *Holoregmia viscida* Nees em relação ao Último Período Interglacial (FIGURA 4). Houve um aumento de da extensão de áreas de Potencial Alto (135.652,15 km²) para o UMG em relação

ao modelo LIG. Logo, expondo que a espécie estaria melhor adaptada ao clima frio do UMG. Assim, mesmo com clima mais frio nesse momento da história, para esse cenário, a espécie endêmica da Caatinga, apresentou largas expansões para o interior desse domínio.

Figura 5 – Mapa de nicho potencial para o cenário Último Máximo Glacial (21 mil anos AP) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Como a área total foi de 481.806,35 km² no UMG, houve uma pequena redução do Último Período Interglacial, porém isso se deve provavelmente à exclusão de áreas de Potencial Moderado e Potencial Bom entre o Cerrado e Mata Atlântica.

O modelo mostrou que durante o UMG as áreas de alta adequabilidade (áreas em vermelho no mapa da (FIGURA 5) ficaram restritas completamente dentre dos limites atuais da Caatinga, prevendo assim que a espécie, nesse momento provavelmente mais frio e úmido, poderia ter um largo nicho potencial em áreas interioranas de zonas atualmente mais secas.

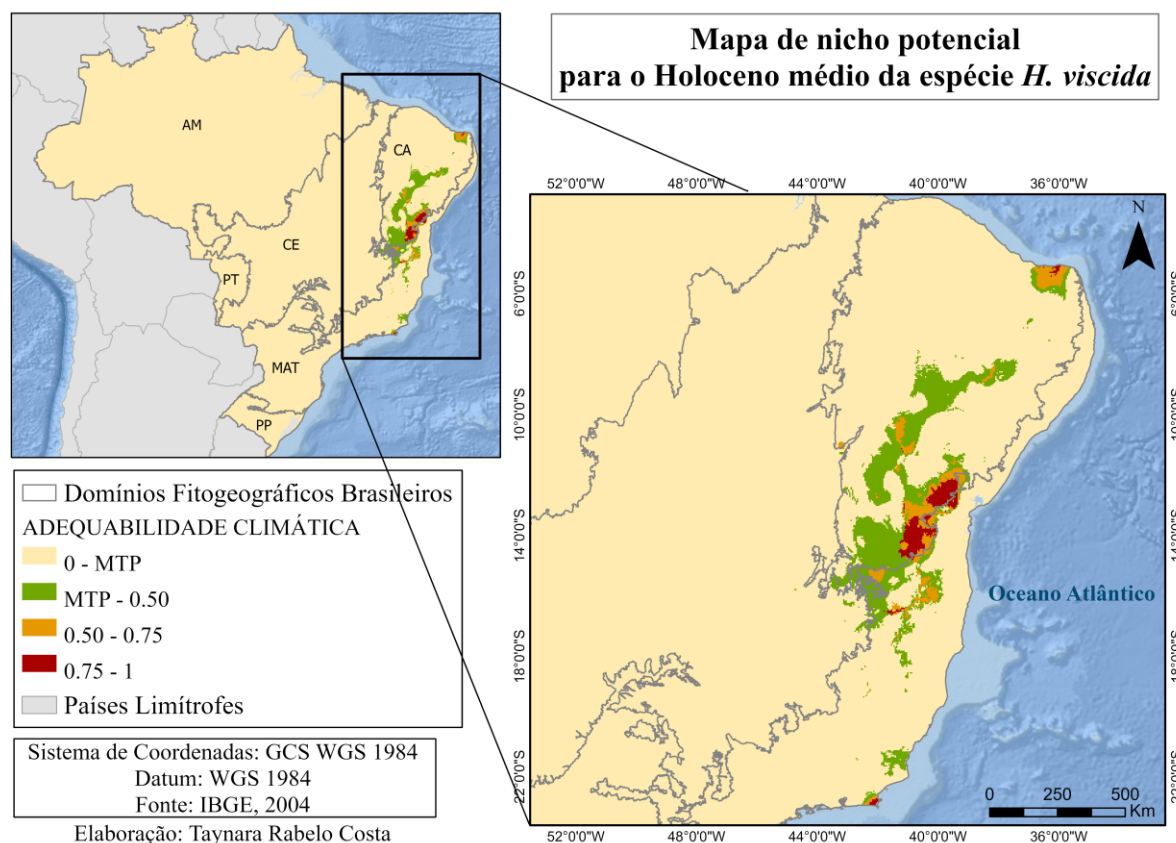
Dessa forma, a vegetação da Caatinga possuiu características climáticas propícias a essa espécie em específico.

Assim como o LIG, a partir do mapa (FIGURA 4) é possível verificar que o modelo indica a existência, durante o UMG, de uma área de alta adequabilidade muito extensa indo de norte a sul do Domínio da Caatinga, muito embora a distribuição atualmente esteja restrita ao sul da Caatinga. Arruda *et al.* (2018) demonstraram aumento da precipitação na Região Nordeste com duração da estação seca reduzida durante o Último Máximo Glacial. Essa alteração no clima há 21 mil anos levou a uma leve contração da Caatinga. Isso provavelmente provocou expansão da adequabilidade de áreas climaticamente favoráveis para *Holoregmia viscida* Nees, porém, levando as áreas para regiões centrais.

Estudos realizados por Behling *et al.* (2000), demonstraram um período mais úmido no Nordeste do Brasil durante o UMG, há cerca de 24 mil anos. Dessa forma, durante esse período, estabeleceu-se condições climáticas ótimas para expansão da espécie *Holoregmia viscida* Nees de leste a oeste da Caatinga. Portanto, a espécie provavelmente colonizou outros ambientes dentro da Caatinga. Essa hipótese é ainda sustentada pelos resultados do modelo do Último Interglacial (FIGURA 4).

No caso do Holoceno Médio (6 mil anos AP) (FIGURA 6), a extensão geográfica das áreas de adequabilidade climática para *Holoregmia viscida* Nees tiveram forte redução. Com isso, a distribuição da espécie deve ter se reduzido à sua distribuição atual, restrita ao sul do Domínio da Caatinga. Estudos mostram que em certos trechos do Domínio da Caatinga o clima ficou mais úmido que o atual no Holoceno (Oliveira *et al.*, 1999), o que deve ter expandido a distribuição de espécies adaptadas a ambientes mais úmidos e redução das adaptadas a ambientes mais secos. Por exemplo, um estudo de modelagem paleoclimática indica que a árvore *Eschweilera tetrapetala* S.A.Mori, endêmica de florestas úmidas da Chapada Diamantina, expandiu sua distribuição geográfica no Holeceno (Menezes *et al.*, 2021, no prelo), ao passo que *H. viscida*, adaptada a climas semiáridos e com distribuição limitada a áreas com precipitação entre 500 e 1000 mm (FIGURA 2) teve redução na extensão geográfica, de acordo com nosso modelo. Os resultados apresentaram uma grande diminuição de todas as classes de adequabilidade no Holoceno médio ao compararmos a extensão adequada a espécie entre o Holoceno e os modelos do Último Interglacial e Último Máximo Glacial.

Figura 6 – Mapa de nicho potencial para o cenário Holoceno Médio (6 mil anos AP) da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínio Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O Holoceno Médio apresentou menos da metade da área total (219.512,94 km²) desde a Última Glaciação Máxima e seu Potencial Alto apresentou um total de apenas 21.103,33 km² (TABELA 1), aferindo-se que durante esse período, a espécie restringiu seu nicho potencial para pequenos remanescentes da Caatinga com algumas manchas na Mata Atlântica.

O Holoceno Médio foi o período mais impactante para a espécie que recuou para regiões, onde atualmente está distribuída. Provavelmente, durante o Holoceno Médio houve um aumento nas precipitações afetando a faixa ótima da espécie. Medeiros *et al.* (2018), utilizando registros polínicos do gênero *Ziziphus* sp., constataram que durante o período de 10.000 a 6.000, áreas da Caatinga devem ter apresentado clima mais úmido, com diminuição na precipitação apenas entre 6.000 a 2.000 AP. Além disso, Oliveira, Barreto e Suguio (1999) evidenciaram em seu estudo que durante 6230ka – 4535ka AP a Caatinga era marcada por condições climáticas

úmidas, apresentando estabelecimento das atuais condições climáticas após esse intervalo de tempo.

O nicho potencial da *Holoregmia viscida* Nees reduziu para regiões da Caatinga, onde as taxas de precipitação atendiam aos parâmetros ótimos para a espécie. Dessa forma, essa diminuição drástica de nicho potencial, consequência das condições úmidas do Holoceno Médio, presumivelmente limitou a área de ocorrência da espécie apenas para o estado da Bahia, como é conhecida atualmente.

É possível também assumir que em períodos de grandes flutuações climáticas, a espécie *Holoregmia viscida* Nees provavelmente habitava, durante o LIG, outros trechos do Domínio da Caatinga onde atualmente não ocorre. Porém, com o aumento da precipitação no Holoceno, a espécie recuou para ambientes mais semiáridos, garantindo sua configuração atual, restrita ao sul da Caatinga.

Identificamos que a distribuição geográfica potencial de *Holoregmia viscida* Nees foi mais extensa que a atual em momentos de clima mais seco do LIG (FIGURA 4) e do UMG (FIGURA 5) e que essa extensão foi reduzida durante períodos mais úmidos do Holoceno (FIGURA 6), quando o clima deve ter ficado mais propício às espécies de ambientes úmidos, com possível expansão de florestas úmidas sobre locais hoje ocupados pela Caatinga (COSTA *et al.*, 2018; OLIVEIRA; BARRETO; SUGUIO, 1999). Após o período mais úmido do Holoceno, quando a extensão das áreas adequadas de *H. viscida* chegaram à sua menor extensão, acreditamos que a espécie expandiu sua distribuição até a configuração atual, restrita ao sul da Caatinga. Muito embora haja atualmente áreas adequadas no estado do Rio Grande do Norte, parece que a espécie não chegou lá por limitação de dispersão. A menos que, alternativamente, ela esteja presente nestas áreas e não tenha sido coletada, o que não pode ser totalmente descartado.

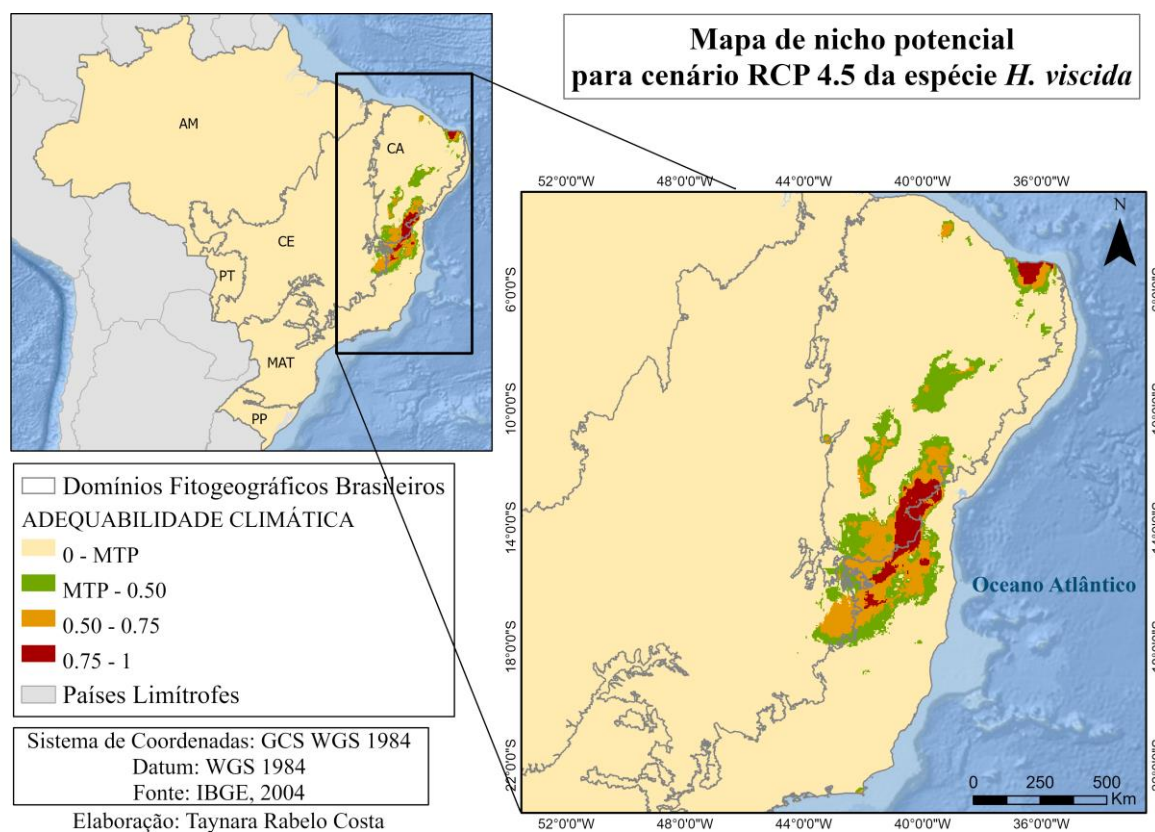
5.1.3 Modelagem de Holoregmia viscida Nees para cenários de aquecimento global

Considerando que *Holoregmia viscida* Nees apresentou uma distribuição mais ampla no Pleistoceno e teve sua distribuição contraída devido as flutuações climáticas do Holoceno até a atual, avaliamos quais os impactos potenciais de cenários futuros de aquecimento global (testamos os cenários RCP 4.5; RCP 6.0 e RCP 8.5) sobre a espécie.

Observamos que o nicho potencial da espécie reduziu consideravelmente e todos os cenários apresentaram deslocamento para regiões mais ao sul do Domínio da Caatinga chegando a áreas ecotonais do Domínio da Mata Atlântica.

Constatamos uma resposta drástica do cenário climático RCP 4.5 (FIGURA 7) para o nicho potencial da *Holoregmia viscida* Nees. Com aumento da temperatura e redução da precipitação haveria uma grande redução de área total e de Potencial Alto, apresentando cerca de 264.886,17 km² e 40.740,27 km², respectivamente. As áreas de alta adequabilidade, apresentaram no modelo RCP 4.5 menos da metade da extensão quando comparado ao modelo de nicho potencial atual (TABELA 3).

Figura 7 – Mapa de nicho potencial para o cenário de aquecimento global RCP 4.5 da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Diferente da modelagem de clima atual, que apresentou áreas de alta adequabilidade ambiental em 90.321,42 km², na projeção do RCP 4.5 o Potencial Alto limitou-se a pequena área do estado do Rio Grande do Norte e parte da Bahia. Neste cenário, há a migração de uma pequena área de alta adequabilidade para uma área de ecótono entre a Caatinga e a Mata Atlântica, já no estado de Minas Gerais. Além disso, a extensa faixa de alta

adequabilidade ao longo do leste do Domínio da Caatinga, que conectava o norte ao sul da Caatinga, que era indicada na modelagem de clima atual, e durante o LIG e UMG desaparecem por completo na modelagem do RCP 4.5, tornando-se um ambiente de Potencial Baixo. Isso poderia ser uma barreira à dispersão de espécies nativas que estão expandindo sua distribuição dentro da Caatinga.

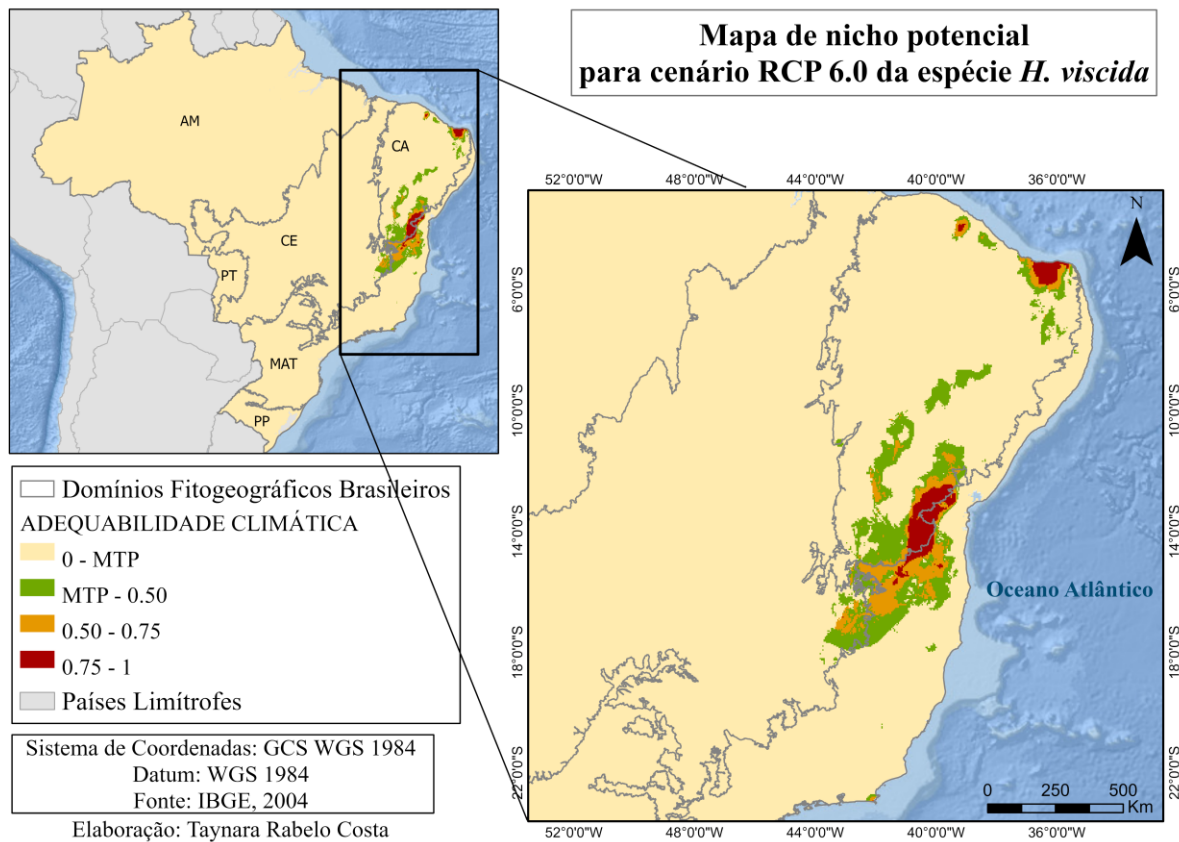
Em síntese, as condições climáticas projetadas pelo IPCC até 2100, onde haveria um aumento e redução da precipitação levariam condições de drástica diminuição de ambientes climaticamente favoráveis à manutenção da espécie, levando *Holoregmia viscida* Nees a se concentrar em pequenas porções no sudeste da Caatinga, com um certo deslocamento de áreas adequadas para áreas ecotonais já dentro do Domínio da Mata Atlântica. Esse comportamento perante a oscilações de clima assemelham-se a modelagem do Holoceno Médio para essa espécie endêmica.

O nicho potencial de *Holoregmia viscida* Nees apresentou ambientes adequados de Potencial Alto e Bom dentro do Domínio Mata Atlântica em uma região limítrofe do sul da Bahia. Em contrapartida, pode-se deduzir que as mudanças climáticas afetariam drasticamente a precipitação e temperatura na Mata Atlântica, a ponto de exibir áreas para espécies adaptadas ao clima da Caatinga, conseqüentemente, essas mudanças poderiam tornar-se extremamente impactante para vegetações úmidas.

Observamos uma redução de Potencial Alto para Potencial Bom na região de Cabo Frio no Rio de Janeiro, assim revelando que este ambiente se tornaria menos propício para vegetação seca. Embora *Holoregmia viscida* Nees não ocorra lá, isso sugere que aquele pequeno enclave de formações secas em meio à Mata Atlântica poderia sofrer redução na adequabilidade às espécies adaptadas ao clima seco atualmente presente naquele local.

Para o cenário RCP 6.0 (FIGURA 8), a distribuição potencial apresentou resultado de área total com cerca de 241.487,61 km² e 35.682,27 km², pequena redução em relação ao RCP 4.5.

Figura 8 – Mapa de nicho potencial para o cenário de aquecimento global RCP 6.0 da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

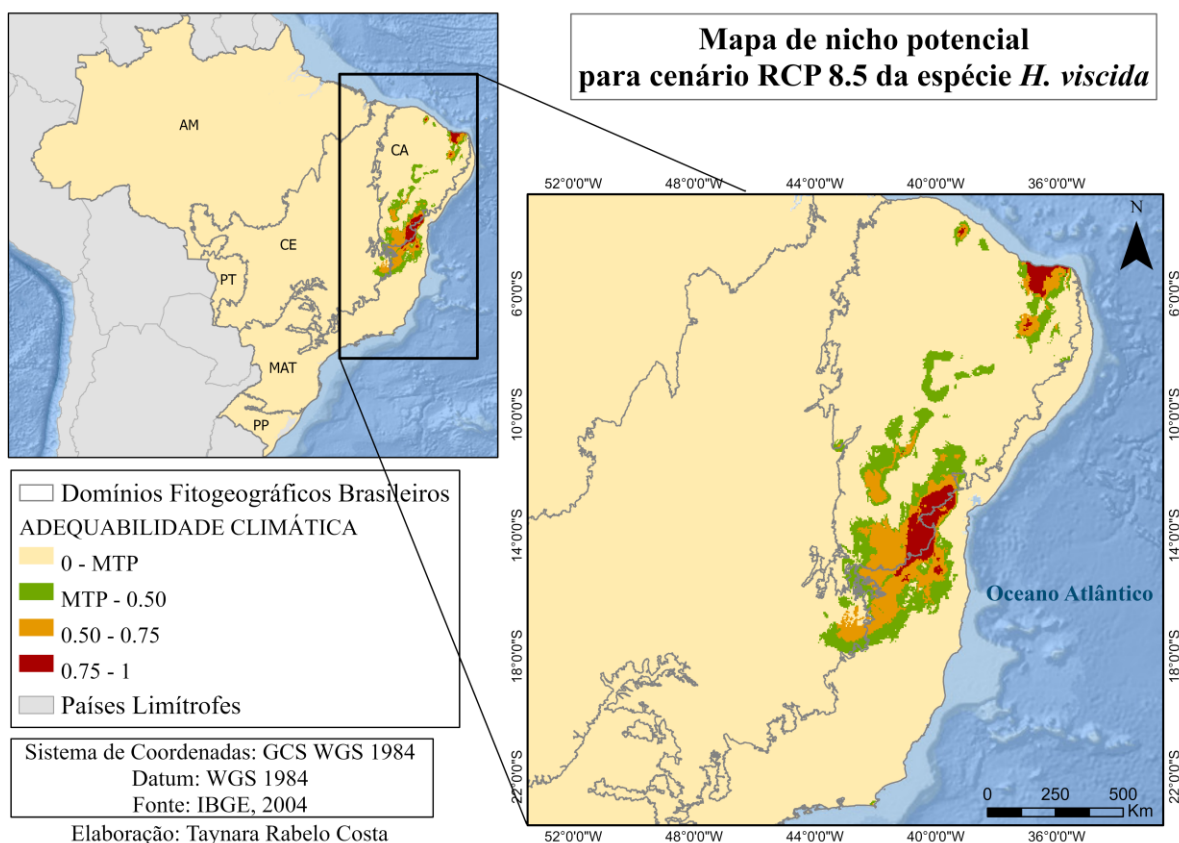
Diferentemente do cenário RCP 4.5, houve um aumento de alta adequabilidade em uma pequena área do estado do Ceará, porém como esse cenário é mais pessimista que o anterior, entendeu-se que essa área foi também um erro de comissão.

Considerando apenas o estado da Bahia, notou-se que o modelo mostrou grande redução de áreas de Potencial Alto, e grande expansão de áreas de Potencial Bom e Moderado em trechos do espaço hoje ocupados pelo Domínio da Mata Atlântica. Isso indica que ambientes úmidos estariam vulneráveis aos impactos climáticos, a partir do momento em que esses

ambientes se tornam propícios para espécies adaptadas a climas semiáridos como a *Holoregmia viscida* Nees.

Em relação ao cenário RCP 8.5 (FIGURA 9), não houveram mudanças significativas na modelagem sobre o RCP 4.5 e RCP 6. A área total de potencial alto, apesar de ser o cenário mais pessimista, manteve-se próximo aos cenários climáticos de aquecimento global RCP 4.5 e RCP 6.0, com um total de 38.062,51 km² para áreas de Potencial Alto e 322.871,21 km² para a área total. Esse pequeno aumento do RCP 6.0 para o RCP 8.5 se deveu a uma ligeira expansão para o Domínio Mata Atlântica, além do surgimento de pequenas áreas na Paraíba.

Figura 9 – Mapa de nicho potencial para o cenário de aquecimento global RCP 8.5 da espécie *Holoregmia viscida* Nees em relação aos Domínios Fitogeográficos do Brasil, dividido em classes de percentual de adequabilidade climática. Os Domínios Fitogeográficos Brasileiros foram identificados como Amazônia (AM), Mata Atlântica (MT), Caatinga (CA), Cerrado (CE), Pampa (PP) e Pantanal (PT).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A considerável modificação de nicho para outras regiões dentro do Domínio da Mata Atlântica sugeriu uma combinação climática de temperatura e precipitação suficiente para

permitir uma possível migração da espécie mais a sul do que atualmente. Resultados similares de expectativa de migração de espécies da Caatinga para habitats atualmente mais úmidos, mas que sofreria aridização sob cenários de aquecimento global, foram relatados por Silva *et al.* (2019). Da mesma forma, prevista por Simões *et al.* (2019), em sua pesquisa com cactáceas endêmicas da Caatinga, que estaria migrando da Caatinga para regiões limítrofes desse bioma e da Mata Atlântica, demonstrando que as regiões de florestas úmidas atuariam como um refúgios para os espécimes.

Ao observar a relativa mudança de nicho potencial da espécie para áreas mais ao sul que atualmente, atingindo áreas hoje ocupadas pela Mata Atlântica. Isso sugere que haverá grandes mudanças sobre as vegetações mais úmidas ao redor do que hoje é o Domínio da Caatinga, tal como salientado por Wang *et al.* (2019) ao demonstrar que áreas de florestas tropicais e subtropicais úmidas estariam 18,6% mais vulneráveis a perdas de faixas de distribuição florestal em relação mudanças climáticas ao projetar níveis altos de emissão gases do efeito estufa. Logo, florestas com tais fisionomias, como no caso da Mata Atlântica, estarão sensíveis a climas com redução de precipitação e aumento de temperatura. Além disso, o Domínio da Mata Atlântica não estaria afetado apenas pela redução na precipitação. O aumento da temperatura reduz a quantidade de água no solo, causando o processo de aridez no solo dessas florestas úmidas tal como demonstrado por Salazar *et al.* (2007).

Por isso, a modelagem de *Holoregmia viscida* Nees, uma espécie restrita a climas semiáridos, sob cenários de aquecimento global pode oferecer, de forma indireta, um indicativo de que as áreas dentro do Domínio da Caatinga podem ficar secas demais para espécies de ambiente semiárido, ao passo que áreas hoje mais úmidas dentro da Mata Atlântica pode ficar sob climas mais secos e sazonais, apropriados para espécies da Caatinga. Isso tornaria espécies da Mata Atlântica vulneráveis, afetando as espécies desse hábitat que estão adaptadas as altas precipitações e distribuição de chuvas mais homogênea ao longo do ano.

Além disso, o sucesso dessa espécie, não depende apenas dos fatores climáticos. A espécie precisaria se adaptar a eventos extremos de clima excepcionalmente seco ou de forte aridez, além de necessitar desenvolver mecanismos que possam garantir sua migração para esses ambientes ecotonais. Também seria preciso considerar as condições edáficas dos ambientes disponíveis para migração e de rotas de migração apropriadas. A fragmentação, por exemplo, pode ser uma forte barreira para a migração das espécies. Atualmente, as espécies enfrentam problemas que reduzem sua distribuição geográfica, como fragmentação, efeito de borda, desmatamento, defaunação, introdução de espécies exóticas e poluição (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Dessa forma, a espécie *Holoregmia viscida* Nees, uma espécie endêmica

da Caatinga, restrita ao estado da Bahia, precisaria resistir a esses impactos e ainda se adaptar a fortes mudanças climáticas para não se tornar outra espécie extinta no século XXI.

5.2 Avaliação de status categórico IUCN e grau de fragmentação de habitat nas áreas de ocorrência de *Holoregmia viscida* Nees

Ao avaliar a extensão estimada de ocorrência *Holoregmia viscida* Nees através da ferramenta GeoCaT, considerou-se apenas a Extensão de Ocorrência devido as limitadas referências sobre a espécie. Assim, no presente estudo não foi avaliado a Área de Ocupação.

Identificamos uma área de cerca de 61.653 km² de EOO para espécie (FIGURA 10), considera-se que a espécie é dispersa em uma área grande o suficiente para se enquadrar no critério B de distribuição restrita, excedendo os limites propostos pela IUCN para a categoria de ‘ameaçada’ (IUCN, 2019). Já a AOO foi de 132 km², que permitiria enquadrar a espécie em vulnerável. Apesar disso, deve haver muitos pontos ainda não coletados, assim, não seria possível enquadrá-la considerando nessa categoria de acordo com a AOO. Dessa forma, consideramos no estudo a Extensão de Ocorrência.

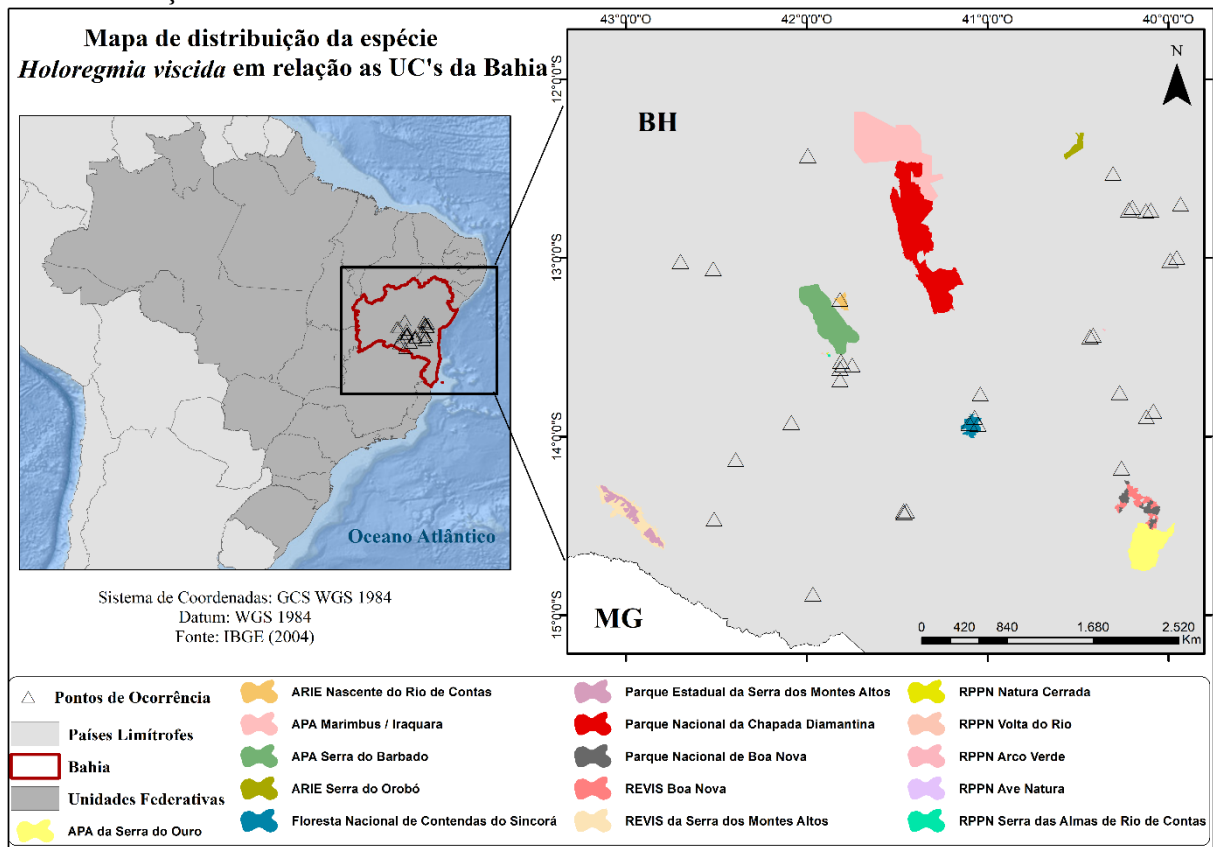
Figura 10 – Mapeamento da distribuição geográfica de *Holoregmia viscida* Nees pela ferramenta GeoCAT para avaliação da categoria de grau de ameaça à conservação da Lista Vermelha da IUCN. No mapa estão representados a Área de Ocupação (132,000 km²) e Extensão de Ocorrência (61.653 km²).



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Também levamos em conta a ocorrência de alguns exemplares em duas Unidades de Conservação, como mostra a figura 11. Há populações confirmadas na Área de Relevante Interesse Ecológico do Rio de Contas e na Floresta Nacional dos Contendas do Sincorá. Logo, entende-se que a espécie teria populações protegidas em ambas áreas de conservação. Dessa forma, a espécie estaria avaliada como Menos Preocupante.

Figura 11 - Mapa de distribuição da espécie *Holoregmia viscida* Nees com relação as Unidades de Conservação no estado da Bahia.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As áreas de relevante interesse ecológico (ARIE) são unidades de conservação instituídas pela Lei N° 9.985, de 18 de Julho de 2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelecidas pelo Art. 14, e caracterizadas pelo Art. 16 como revelado a seguir:

A Área de Relevante Interesse Ecológico é uma área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza (SNUC, 2010).

Sob poder da mesma lei, a Floresta Nacional, possui as seguintes características instituídas pelo Art. 17, exposto a seguir:

A Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas (SNUC, 2010).

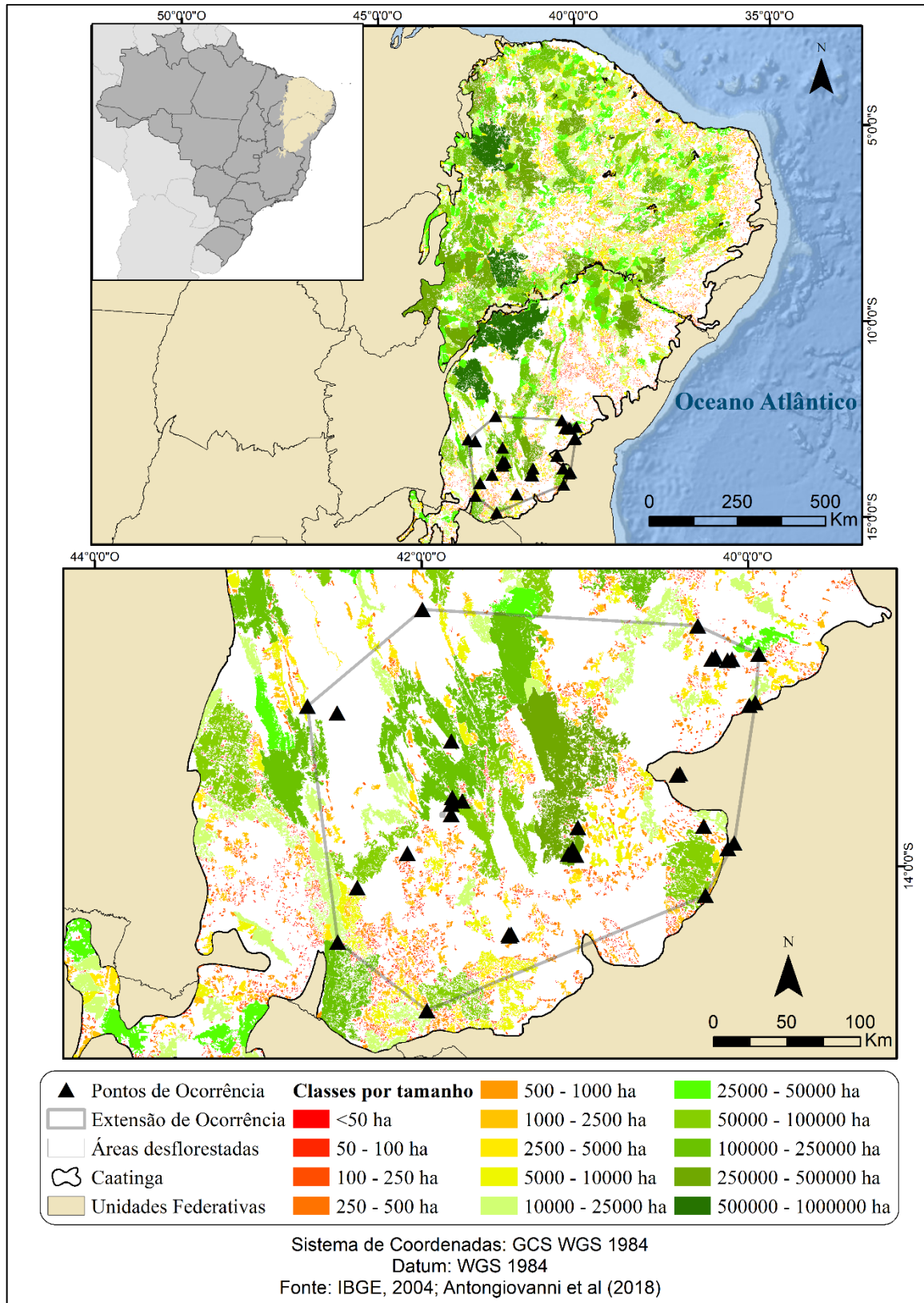
A interação humana com a paisagem ainda é permitida nas duas unidades de conservação, onde foram registrados exemplares. Práticas como: agricultura, extração de madeira e pecuária são fatores que precisam ser considerados como ameaça a sua sobrevivência, tendo em vista que podem reduzir sua extensão de ocorrência levando a espécie a mudar de status dentro das categorias da IUCN em pouco tempo. Dessa forma, o monitoramento ambiental é uma ferramenta essencial de proteção a extinção dessa espécie endêmica.

Mesmo com a avaliação de Menos Preocupante a partir das diretrizes da IUCN (2019), ao plotar a EOO da espécie junto aos dados de fragmentação da Caatinga elaborado por Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018) foi possível observar que a área onde a espécie ocorre está fragmentada e sofreu considerável perda de cobertura vegetal.

No estudo de fragmentação do Domínio da Caatinga realizado por Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018), os autores mapearam 47.100 fragmentos de vegetação no Domínio, com tamanho médio de 879 hectares. Entretanto, a maior parte da vegetação restante, cerca de 78%, nesse bioma está distribuída em grandes fragmentos maiores de 10.000 hectares.

Apesar da Caatinga estar relativamente bem conectada em seus 47.100 fragmentos, a região da Caatinga mais próxima à Mata Atlântica e no extremo sul fazem parte dos ambientes mais fragmentados e com maior perda de habitats através das atividades antropogênicas (ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018), local em que o EOO da espécie *Holoregmia viscida* está situada (FIGURA 12).

Figura 12 - Pontos de ocorrência da espécie *Holoregmia viscida* Nees e representação da sua Extensão de Ocorrência sobre habitats fragmentados da Caatinga. Os habitats fragmentados da Caatinga estão divididos por classes em hectares representados por cores.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Assim, como mostra a figura 12, a Extensão de Ocorrência da *Holoregmia viscida* Nees está limitada a um setor da Caatinga com alto grau de fragmentação, com tamanho médio dos fragmentos de 732,48 hectares, onde apenas 39,5% da EOO possui cobertura vegetal. Assim, as áreas com menor grau de fragmentação se encontram dentro de Unidades de Conservação. Salientando, que esse impacto também influencia no nicho potencial da espécie avaliada nesse trabalho.

Ao se tratar de uma espécie endêmica ou rara, no qual possui por definição hábitat restrito e maior risco a extinção quando comparado com outras espécies fora dessa classificação (ISIK, 2011), sua capacidade de transição entre ambientes é mais limitada em contraste a espécies abundantes ou cosmopolitas. Mostramos aqui que, devido à sua distribuição moderadamente restrita, *Holoregmia viscida* Nees está mais suscetível as consequências da fragmentação. Além disso, a fragmentação promove o efeito de borda, que atinge mais severamente fragmentos menores, ocasionando uma maior facilidade de diversos impactos sobre as espécies que vivem nesses fragmentos. A exemplo das espécies invasoras, que possuem maior facilidade de adentrar em fragmentos pequenos, atividade antrópica, dificuldade na transição de espécies entre fragmentos, além de causar mudanças abióticas ao aumentar os níveis de temperatura, vento e umidade (PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

Ambientes fragmentados reduzem o tamanho das populações na paisagem e aumentam a possibilidade de espécies com populações pequenas ou restritas passarem por extinções locais (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Assim, apesar do status de conservação da *Holoregmia viscida* Nees ter sido categorizado como Menos Preocupante, algumas de suas populações, principalmente fora dos limites das Unidades de Conservação, se localizam em áreas fragmentadas, com perda da cobertura vegetal, e com uma alta quantidade de fragmentos de pequeno tamanho.

Assim, o monitoramento de *H.viscida* espécie, para observar se sua população aumenta ou diminui, além de avaliar periodicamente sua EOO sob as diretrizes da IUCN são processos importantes para garantir que a espécie seja manejada corretamente e não seja incluída na categoria de ameaça. Além de ser um esforço que garanta sua sobrevivência, é um processo que assegura a riqueza da biodiversidade na Caatinga, ao impedir a extinção de uma espécie endêmica.

Todavia, a figura 12 ainda evidencia espécimes próximos a outras unidades de conservação. Nessa circunstância, como forma de manter e preservar as populações da espécie, poderia ser aplicada a estratégia de criar corredores ecológicos para conectar essas unidades, auxiliando a manutenção do fluxo gênico da espécie, sua migração. Além disso, os corredores

não auxiliariam apenas essa espécie endêmica, como também milhares de outras que poderiam utilizá-los. Outra estratégia poderia ser a criação de novas unidades de conservação em trechos melhor conservados de Caatinga do sul da Bahia e assim salvaguardar ambientes saudáveis com menor interferência das atividades humanas é essencial para evitar essa grande problemática.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo produziu um portfólio extenso sobre *Holoregmia viscida* Nees, um gênero de plantas monoespecífico endêmico do Domínio da Caatinga. Fornecemos aqui um mapa de distribuição global, uma análise técnica do seu status de conservação pelos critérios da IUCN e modelos de distribuição potencial, para investigar seu nicho potencial e quais são os fatores limitantes para sua distribuição geográfica. Verificamos que embora atualmente haja áreas ao norte da Caatinga com alta adequabilidade para sua ocorrência, flutuações climáticas que ocorreram no Holoceno provavelmente reduziram sua área de distribuição para o sul do Domínio, reduzindo sua ocorrência à atual distribuição. É possível que a espécie possa estar em processo de migração e recolonização de ambientes adequados dentro da Caatinga. Entretanto, a situação atual de desmatamento e fragmentação da Caatinga pode ser um impedimento para que isso ocorra.

Os dados de nossas modelagens sobre os efeitos de cenários de aquecimento global não são animadores. Os modelos preveem reduções nas áreas de alta adequabilidade para o nicho potencial da espécie, no qual o aumento de temperatura e a redução de precipitação afetariam drasticamente essa espécie endêmica. A espécie não só precisaria colonizar novos ambientes para sobreviver, como também teria que migrar para algumas áreas fora de sua distribuição atual. Todavia, essas áreas de futura adequabilidade são hoje ocupadas por ecossistemas mais úmidos como a Mata Atlântica, deixando antever problemas para a conservação também de espécies adaptadas para climas mais úmidos. Apesar disso, parte da distribuição atual da espécie permaneceria, segundo os modelos, adequadas à ocorrência da espécie no futuro, embora com menor extensão que atualmente.

Ainda assim, dentre os impactos ambientais atuantes sob a degradação ambiental na Caatinga, a fragmentação perante a distribuição da espécie estudada, revelou-se um impacto agressivo para esta, levando em consideração os níveis de fragmentação localizados na sua extensão de ocorrência. Logo, a conservação ambiental em um dos biomas mais degradados e negligenciados do Brasil, depende quase totalmente da criação de áreas de conservação e preservação ambiental.

Portanto, concluiu-se que avaliações por meio de modelos de nicho potencial e avaliação de impactos a partir do uso da terra são extremamente importantes para orientar e auxiliar em planos de preservação da biodiversidade de espécies, principalmente para espécies endêmicas de importância inestimável. Além de mostrar a necessidade de criar unidades de conservação que atenuem os impactos advindos das alterações climáticas, principalmente em

regiões ecotonais. Juntamente com a indispensabilidade de estabelecer corredores ecológicos entre unidades de conservação como forma de garantir o fluxo de genes, dispersão e migração de espécies. Assim, assegurando a diversidade biológica no ecossistema Caatinga.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ANTONGIOVANNI, M; VENTICINQUE, E. M; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, [S.l.], v. 33, n. 8, p. 1353-1367, 20 jun. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325888049>. Acesso em: 02 fev. 2021.
- ARRUDA, D. M; SCHAEFER, C. G. R. Dinâmica climática e Biogeográfica do Brasil no Último Máximo Glacial: o estado da arte. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 34, p. 187-198, 7 mar. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341285330_Dinamica_climatica_e_BIOgeografica_do_Brasil_no_Ultimo_Maximo_Glacial_o_estado_da_arte. Acesso em: 10 out. 2020.
- ARRUDA, D. M; SCHAEFER, C. G. R; FONSECA, R. S; SOLAR, R. R. C; FERNANDES-FILHO, E. I. Vegetation cover of Brazil in the last 21 ka: new insights into the amazonian refugia and pleistocenic arc hypotheses. **Global Ecology And Biogeography**, [S.l.], v. 27, n. 1, p. 47-56, 12 out. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320351562>. Acesso em: 17 jan. 2021.
- BACHMAN, S; MOAT, J; HILL, A.W; LATORRE, J de; SCOTT, B.Supporting Red List threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. **Zookeys**, [S.l.], v. 150, p. 117-126, 28 nov. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51971423_Supporting_Red_List_threat_assessments_with_GeoCAT_geospatial_conservation_assessment_tool. Acesso em: 07 jun. 2020.
- BEHLING, H; ARZ, H. W; PÄTZOLD, J; WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, [S.l.], v. 19, n. 10, p. 981-994, jun. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379199000463>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- BELLARD, C; BERTELSMEIER, C; LEADLEY, P; THUILLER, W; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 365-377, 18 jan. 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>. Acesso em: 10 out. 2020.
- BRASIL. **Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002**. Regulamenta artigos da Lei n o 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4340.htm> Acesso em: 18 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília, 2016. 590p. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/305084250_Modelagem_Climatica_e_Vulnerabilidade_des_Setoriais_a_Mudanca_do_Clima_no_Brasil. Acesso em: 13. mar. 2020.

BOHRER, C. B. de A.; DANTAS, H. G. R.; CRONEMBERGER, F. M.; VICENS, R. S.; ANDRADE, S. F. de. Mapeamento da vegetação e do uso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, [S.l.], v. 60, n. 1, p. 1-23, mar. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860200960101>. Acesso em: 21 abr. 2020.

BROWN, J. H; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: Funpec, 2006.

BUENO, M. L; PENNINGTON, R. T; DEXTER, K. G; KAMINO, L. H. Y; PONTARA, V; NEVES, D. M; RATTER, J. A; OLIVEIRA-FILHO, A. T de. Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. **Ecography**, [S.l.], v. 40, n. 3, p. 403-414, 18 dez. 2017.. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/geb.12694>. Acesso em: 21 mar. 2021.

BURLAKOVA, L. E; KARATAYEV, A. Y; KARATAYEV, V. A; MAY, M. E; BENNETT, Daniel L; COOK, M. J. Endemic species: contribution to community uniqueness, effect of habitat alteration, and conservation priorities. **Biological Conservation**, [S.l.], v. 144, n. 1, p. 155-165, jan. 2011. Disponível em: [\(PDF\) Endemic species: Contribution to community uniqueness, effect of habitat alteration, and conservation priorities \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 16 nov. 2020.

CASTELLETTI, C. H. H; SANTOS, A. M. M; TABARELLI, M; SILVA, J. M. C da. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 2. ed. Recife: Ed. Universitária da Ufpe, 2003. p.822. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caatinga_203.pdf. Acesso em: 08 jun. 2020.

CLARK, P. U; DYKE, A. S; SHAKUN, J. D; CARLSON, A. E; CLARK, J; WOHLFARTH, B; MITROVICA, J. X; HOSTETLER, S. W; MCCABE, A. M.. The Last Glacial Maximum. **Science**, [S.l.], v. 325, n. 5941, p. 710-714, 6 ago. 2009. Disponível em: [\(PDF\) The Last Glacial Maximum \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 31 mar. 2021.

COLINVAUX, P. A; OLIVEIRA, P. E. de; MORENO, J. E; MILLER, M. C; BUSH, M. B. A Long Pollen Record from Lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. **Science**, [S.l.], v. 274, n. 5284, p. 85-88, 4 out. 1996. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235234011_A_Long_Pollen_Record_from_Lowland_Amazonia_Forest_and_Cooling_in_Glacial_Times. Acesso em: 10 jul. 2020.

COSTA, G.C; HAMPE, A; LEDRU, M-P; MARTINEZ, P.A; MAZZOCHINI, G.G; SHERPADRD, D.B. Biome stability in South America over the last 30 kyr: Inferences from long-term vegetation dynamics and habitat modelling. **Glob Ecol Biogeogr**. v. 27, n. 3, p. 285-297. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/geb.12694>. Acesso em: 22 mar. 2021.

COSTA, Simone Miranda da; CORDEIRO, José Luís Passos; RANGEL, Elizabeth Ferreira. Environmental suitability for *Lutzomyia* (*Nyssomyia*) *whitmani* (Diptera):

psychodidae. **Parasites & Vectors**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 1-10, 7 mar. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13071-018-2742-7>.

COX, C. B; MOORE, P. D. **Biogeografia: uma abordagem ecológica e evolucionária**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2005. 440 p. Tradução de: Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva.

DALAPICOLLA, J. **TUTORIAL DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO - GUIA TEÓRICO**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória: Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312553609_TUTORIAL_DE_MODELOS_DE_DISTRIBUICAO_-_GUIA_TEORICO. Acesso em: 24 fev. 2020.

DRUMOND, Marcos Antonio *et al.* Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: SILVA, Jose Maria Cardoso da *et al.* **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 382.

ELTON, C. **Animal ecology**. London: Sidgwick & Jackson, LTD. 1927. 207 p. Disponível em: [Animal ecology : Elton, Charles S. \(Charles Sutherland\), 1900- : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive](http://www.archive.org/details/AnimalEcologyEltonCharlesSCharlesSutherland1900FreeDownloadBorrowandStreamingInternetArchive). Acesso em: 08 jun. 2020.

FAIRBRIDGE, R. W. Climatology of a Glacial Cycle. **Quaternary Research**, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 283-302, 1972. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/0033-5894\(72\)90049-x](http://dx.doi.org/10.1016/0033-5894(72)90049-x).

FAWCETT, Tom. ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Researchers. **Hp Laboratories**, Palo Alto, v. 31, p. 1-38, mar. 2003.

FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, [S. l.], v. 174, p. 104079, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104079>.

FERRIER, S; DRIELSMA, M; MANION, G; WATSON, G. Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New South Wales. II. Community-level modelling. **Biodiversity And Conservation**, [S.l.], v. 11, n. 12, p. 2309-2338, 2002. DOI <http://dx.doi.org/10.1023/a:1021374009951>.

FIELDING, A. H.; BELL, J. F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental conservation**, v. 24, n. 1, p. 38-49, 1997

FUNK, V. A.; RICHARDSON, K. S.. Systematic Data in Biodiversity Studies: use it or lose it. **Systematic Biology**, [S.l.], v. 51, n. 2, p. 303-316, 1 mar. 2002. DOI <http://dx.doi.org/10.1080/10635150252899789>.

GARDA, A. A; STEIN, M. G; MACHADO, R. B; LION, M. B; JUNCÁ, F. A; NAPOLI, M. F. Ecology, Biogeography, and Conservation of Amphibians of the Caatinga. **Caatinga**, [S.l.], p. 133-149, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_5. Acesso em: 19 nov .2020.

GEOCAT. Geospatial Conservation Assessment Toll. Disponível em: [GeoCAT \(kew.org\)](http://www.kew.org/Geocat/). Acesso em 7 de jun. 2020.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M. Flora da Bahia: martyniaceae. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, [S.l.], v. 13, p. 1-4, 29 dez. 2013. DOI <http://dx.doi.org/10.13102/scb318>.

GRINNELL, J. The niche-relationships of the California Thrasher. **Auk**, Boston, v. 34, n. 4, p. 427-433, oct. 1917. Disponível em: [The Niche-Relationships of the California Thrasher on JSTOR](https://www.jstor.org/stable/2302844). Acesso em 12 de jun. 2020.

GUEDES, T. B; NOGUEIRA, C; MARQUES, O. A.V. Diversity, natural history, and geographic distribution of snakes in the Caatinga, Northeastern Brazil. **Zootaxa**, [S.l.], v. 3863, n. 1, p. 1-93, 19 set. 2014.. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265787253_Diversity_natural_history_and_geographic_distribution_of_snakes_in_the_Caatinga_Northeastern_Brazil. Acesso em: 20 out. 2020.

HAFFER, J.; Speciation in Amazonian Forest Birds. **Science**, [S.l.], v. 165, n. 3889, p. 131-137, 11 jul. 1969. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/234150388_Speciation_Patterns_in_the_Amazonian_Forest_Biota. Acesso em: 05 jul. 2020.

HARLEY, R. M; GIULIETTI, A. M; SANTOS, F. A. R. dos. Holoregmia Nees, a Recently Rediscovered Genus of Martyniaceae from Bahia, Brazil. **Kew Bulletin**, [S.l.], v. 58, n. 1, p. 205-212, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4119363?seq=1>. Acesso em: 21 ago. 2020.

HEWITT, Godfrey. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. **Nature**, [S.l.], v. 405, n. 6789, p. 907-913, jun. 2000. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/35016000>. Acesso em: 15 abril. 2020.

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. Disponível em: [Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas - Hijmans - 2005 - International Journal of Climatology - Wiley Online Library](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1397). Acesso em: 20 fev. 2020.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**. v. 22, p.415-427, 1957. Disponível em: [Hutchinson-CSHSymQunBio-1957.pdf \(unil.ch\)](https://www.csh.edu/pressroom/1957/Hutchinson-CSHSymQunBio-1957.pdf). Acesso em: 18 dez. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil em Síntese**. 2007. Disponível em: [Biomias | IBGE](https://brasil.emsintese.ibge.gov.br/). Acesso em: 24 de abril de 2020.

IBGE. **Mapas de biomas do Brasil: Primeria Aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 10 de jan de 2021.

IHLENFELDT, H.D. Martyniaceae. In: KUBUBITZKI, K; KADEREIT, J.W(eds), **The Families and Genera of Vascular Plants**, Springer, Berlim, v. 6, p. 283–288. 1957.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (eds). Geneva: IPCC, 2007, 104 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013, 1536 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; Meyer, L (eds.) Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf.

ISIK, K. Rare and endemic species: Why are they prone to extinction?. **Turkish Journal Of Botany**, [S.l.], v. 35, p. 411-417, nov. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/215471997_Rare_and_endemic_species_Why_are_they_prone_to_extinction. Acesso em: 29 jan. 2021.

IUCN. **IUCN Red List Categories**. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, U.K. 1994.

IUCN. **Guidelines for application of IUCN Red List criteria at regional and national levels: version 4.0**. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. 2010.

IUCN Red List Technical Working Group. **Mapping Standards and Data Quality for IUCN Red List Spatial Data**. Version 1.18. Prepared by the Standards and Petitions Working Group of the IUCN SSC Red List Committee. 2019. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/resources/mappingstandards>. Acesso em: 16 jun. 2020.

LEITE, J. C. Do mistério das eras do gelo às mudanças climáticas abruptas. **Scientiae Studia**, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 811-839, dez. 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662015000400811. Acesso em: 21 dez. 2020.

LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; LOSS, A. C.; ROCHA, R. G.; BATALHA-FILHO, H.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S.; FAGUNDES, V.; PARESQUE, R.; PASSAMANI, M.; PARDINI, R. Neotropical forest expansion during the last glacial period challenges refuge hypothesis. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.l.], v. 113, n. 4, p. 1008-1013, 11 jan. 2016. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1513062113>.

LIMA, Natácia Evangelista de; CARVALHO, Alexandre Assis; LIMA-RIBEIRO, Matheus Souza; MANFRIN, Maura Helena. Caracterização e história biogeográfica dos ecossistemas secos neotropicais. **Rodriguésia**, [S.l.], v. 69, n. 4, p. 2209-2222, dez. 2018.

LOBO, J. M.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; HORTAL, J. The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. **Ecography**, [S.l.], v. 33, n. 1, p. 103-114, fev. 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0587.2009.06039.x>. Acesso em: 20 dez. 2020.

LUGHADHA, E.; BAILLIE, J; BARTHLOTT, W; BRUMMITT, N.A; CHEEK, M.R; FARJON, A; GOVAERTS, R.; HARDWICK, K.A; HILTON-TAYLOR, C; MEAGHER, T.R. Measuring the fate of plant diversity: towards a foundation for future monitoring and opportunities for urgent action. **Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences**, [S.l.], v. 360, n. 1454, p. 359-372, 28 fev. 2005. The Royal Society. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2004.1596>. Acesso em: 16 de ago de 2020.

MAKSIC, J; SHIMIZU, M. H; OLIVEIRA, G. S. de; VENANCIO, I. M; CARDOSO, M; FERREIRA, F. A. Simulation of the Holocene climate over South America and impacts on the vegetation. **The Holocene**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 287-299, 16 nov. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0959683618810406>.

MAYLE, Francis E.; BEERLING, David J.; GOSLING, William D.; BUSH, Mark B.. Responses of Amazonian ecosystems to climatic and atmospheric carbon dioxide changes since the last glacial maximum. **Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London. Series B: Biological Sciences**, [S.l.], v. 359, n. 1443, p. 499-514, 29 mar. 2004. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2003.1434>. Acesso em: 06 jan. 2021.

MEDEIROS, V. B. de; OLIVEIRA, P. E. de; SANTOS, R. A.; BARRETO, A. M. F.; OLIVEIRA, M. A.T. de; PINAYA, J. L.D. New Holocene pollen records from the Brazilian Caatinga. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.l.], v. 90, n. 21, p. 2011-2023, ago. 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0001-37652018000502011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01 fev. 2021.

MENEZES, Isiara *et al.* Identification of priority areas for *Eschweilera tetrapetala* (Lecythidaceae) conservation in response to climate change. **Rodriguésia**, jul. 2020. No prelo.

MEROW, C; SMITH, M. J; SILANDER, J. A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. **Ecography**, [S.l.], v. 36, n. 10, p. 1058-1069, 18 jun. 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>. Acesso em: 06 jan. 2021.

MEYER, Andreas Luiz Schwarz. **INTEGRANDO MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO E DADOS EM SIG NA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE *Leontopithecus* (PRIMATES: CALLITRICHINAE) ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**. 2013. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/30419>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MEYER, K. E. B; CASSINO, R. F; LORENTE, F. L; RACZKA, M. F.; PARIZZI, M.. Paleoclima e paleoambiente do Cerrado durante o Quaternário com base em análises palinológicas. In: CARVALHO, I. S; GARCIA, M. J.; LANA, C. C.; STROHSCHOEN, O. (ed.). **Paleontologia: Cenários de Vida**. Rio de Janeiro: Interciencia, 2014. p. 20-403. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261533055_Paleoclima_e_paleoambiente_do_Cerrado_durante_o_Quaternario_com_base_em_analises_palinologicas. Acesso em: 06 set. 2020

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81099.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2020.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. **Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas**. São José dos Campos: Rede Clima/Inpe, 2012. 44 p. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/fundamentos_cientificos_mc_web.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.

OLIVEIRA, P. de; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco river. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [S.l.], v. 152, n. 3-4, p. 319-337, set. 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018299000619>. Acesso em: 15 maio 2020.

PAGLIA, A.P; FONSECA, G.A.B; RYLANDS, A.B; HERMANN, G; AGUIAR, L.M.S; CHIARELLO, A.G; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L.P; SICILIANO, S; KIERULFF, M.C.M; MENDES, S.L; TAVARES, V.D.C; MITTERMEIER, R.A; PATTON, J.L; Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil. 2º ed. **Occasional Papers in Conservation Biology**, 6, p. 1-76.

PAGLIA, Adriano Pereira; REZENDE, Daniella Teixeira de; KOCH, Ingrid; KORTZ, Alessandra Rocha; DONATTI, Camila. Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação da biodiversidade e para Adaptação baseada em Ecossistemas frente a mudanças climáticas. **Natureza & Conservação**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 231-234, 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031>. Acesso em: 31 mar. 2021.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006. Disponível em: [Maximum entropy modeling of species geographic distributions - ScienceDirect](#). Acesso em: 04 mar. 2020.

PHILLIPS, Steven J.; DUDÍK, Miroslav. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 161-175, abr. 2008. Disponível em: [Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation - Phillips - 2008 - Ecography - Wiley Online Library](#). Acesso: 09 julho. 2020.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M; SILVA, J. M. C da. (eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universitária da Ufpe, 2003. Disponível em: [\(PDF\) As caatingas da América do Sul \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 06 fev. 2020.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South America. **Annals Of The Missouri Botanical Garden**, [S.l.], v. 80, n. 4, p. 902-927, 1993. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251566187_Patterns_of_Species_Distributions_in_the_Dry_Seasonal_Forests_of_South_America. Acesso em: 13 mar. 2020

PRIMACK, R B; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. [S.l.]: Planta, 2001. 328 p.

QUEIROZ, L P de; CARDOSO, D; FERNANDES, M F; MORO, M F. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In: SILVA, José Maria Cardoso da; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo (ed.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in south america**. [S.l.]: Spring, 2017. p. 1-487. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322381347_Caatinga_The_Largest_Tropical_Dry_Forest_Region_in_South_America.pdf. Acesso em: 07 ago. 2020.

RSTUDIO. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 11 nov. 2020.

RODRIGUES, A; PILGRIM, J; LAMOREUX, J; HOFFMANN, M; BROOKS, T. The value of the IUCN Red List for conservation. **Trends In Ecology & Evolution**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 71-76, fev. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/7081007_The_value_of_the_IUCN_Red_List_for_conservation. Acesso em: 07 ago. 2020.

RUSHTON, S. P; ORMEROD, S. J; KERBY, G. New paradigms for modelling species distributions? **Journal Of Applied Ecology**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 193-200, abr. 2004. Wiley. DOI 10.1111/j.0021-8901.2004.00903. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.0021-8901.2004.00903.x>. Acesso em: 12 set. 2020.

SALA, O. E.. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. **Science**, [S.l.], v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 10 mar. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/12606072_Biodiversity_-_Global_biodiversity_scenarios_for_the_year_2100. Acesso em: 6 maio 2020.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-6, maio 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/248815174_Climate_change_consequences_on_the_biome_distribution_in_tropical_South_America. Acesso em: 16 dez. 2020.

SIFEDDINE, A.; CHIESSI, C. M.; CRUZ JÚNIOR, F. W da. Informações paleoclimáticas brasileiras. In: **Base científica das mudanças climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_voll.pdf. Acesso em: 26 fev 2020.

SILVA, J. L. S; CRUZ-NETO, O; PERES, C. A; TABARELLI, M; LOPES, A. V. Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. **Plos One**, [S.l.], v. 14, n. 5, p. 1-24, 2019. Disponível em: [Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies \(plos.org\)](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216441). Acesso em: 17 de ago. 2020.

SILVA, J. M. C, da; S, M. A. de; BIEBER, A. G. D; CARLOS, C. J. Aves da Caatinga: Status, Uso do habitat e sensibilidade. In: LEAL, INARA. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.

Ecologia e Conservação da Caatinga. 2. ed. Recife: Ed. Universitária da Ufpe, 2003. p.822. Disponível em:

https://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caatinga_203.pdf. Acesso em: 08 jun. 2020.

SILVA SOBRINHO, M. da; CAVALCANTE, A. de M; DUARTE, A. de S; SOUSA, G. dos S de. Modelagem da Distribuição Potencial de *Mangifera indica* L. sob Cenários Climáticos Futuros no Bioma Caatinga. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.l.], v. 34, n. 3, p. 351-358, set. 2019. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862019000300351. Acesso em: 15 ago. 2020.

SIMÕES, S dos S; ZAPPI, D; COSTA, G. M da; OLIVEIRA, G de; AONA, L. Y. S. Spatial niche modelling of five endemic cacti from the Brazilian Caatinga: past, present and future. **Austral Ecology**, [S.l.], v. 45, n. 1, p. 35-47, 28 set. 2019. em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/aec.12825>. Acesso em: 16 fev. 2021.

SOHN, N; FERNANDEZ, M; PAPES, M; ANCIÃES, M. ECOLOGICAL NICHE MODELING IN PRACTICE: flagship species and regional conservation planning. **Oecologia Australis**, [S.l.], v. 17, n. 3, p. 429-440, set. 2013. Disponível em:

<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8284>. Acesso em: 16 mar. 2021.

SOUZA, E. B de; MANZI, A O. Mudanças Ambientais de Curto e Longo Prazo: Projeções, Reversibilidade e Atribuição. **Base científica das mudanças climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: Cope, 2014. p. 1-464. Disponível em:

http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_voll.pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

SPECIESLINK, [s. d.]. Disponível em: [speciesLink Network \(smlink.org.br\)](https://specieslink.org.br). Acesso em: 17 fev. 2020.

TEIXEIRA, Lucas *et al.* How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semiarid. **Acta Botanica Brasilica**, 2021. No prelo.

THOMAS, C. D; CAMERON, A; GREEN, R. E; BAKKENES, M; BEAUMONT, L. J; COLLINGHAM, Y. C; ERASMUS, B. F. N; SIQUEIRA, M. F de; GRAINGER, A; HANNAH, L. Extinction risk from climate change. **Nature**, [S.l.], v. 427, n. 6970, p. 145-148, jan. 2004. Springer Science and Business Media LLC. DOI 10.1038/nature02121. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/8928870_Extinction_risk_from_climate_change. Acesso em: 18 dez. 2020.

TÔRRES, N. M; VERCILLO, U. E. Como ferramentas de modelagem de distribuição de espécies podem subsidiar ações de governo? **Natureza & Conservação**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 228-230, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.023>.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C (ed.). **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste/Instituto de Conservação Ambiental, 2002. 76 p.

VIÉ, Jean-Christophe; HILTON-TAYLOR, Craig; STUART, Simon N. (ed.). **WILDLIFE IN A CHANGING WORLD: an analysis of the 2008 iucn red list of threatened species**. Gland, Switzerland: Iucn, 2009. 180 p. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/RL-2009-001.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020.

VILLORDON, Arthur *et al.* Using GIS-Based Tools and Distribution Modeling to Determine Sweetpotato Germplasm Exploration and Documentation Priorities in Sub-Saharan Africa. **Hortscience**, [S.l.], v. 41, n. 6, p. 1377-1381, out. 2006. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.41.6.1377>.

WANG, C-J.; ZHANG, Z-X.; WAN, J-Z. Vulnerability of global forest ecoregions to future climate change. **Global Ecology And Conservation**, [S.l.], v. 20, p. 760-770, out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419303014#fig1>. Acesso em: 28 jan. 2021.

WARREN, Dan L.; SEIFERT, Stephanie N.. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. **Ecological Applications**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 335-342, mar. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51118428_Ecological_niche_modeling_in_Maxent_the_importance_of_model_complexity_and_the_performance_of_model_selection_criteria. Acesso em: 05 jun. 2020.

ANEXO A

IMAGENS DA ESPÉCIE *HOLOREGMIA VISCIDA*

Holoregmia viscida

MARTYNACEAE

Fonte: Luciano Paganucci de Queiroz (2016)

ANEXO B

Curvas de respostas das variáveis ambientais empregadas na elaboração dos modelos de nicho potencial atual, pretérito e futuro da espécie

