UNIVERSIDADE FEDERAL DA
BAHIA INSTITUTO DE BIOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E AÇÃO DO FOGO NA OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE ENDÊMICA *MELOCACTUS PACHYACANTHUS*

por

FLÁVIA DOS SANTOS BOMFIM

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Instituto de Biologia da Universidade Federal Bahia como exigência para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas

Salvador, BA
(2024)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA
BAHIA INSTITUTO DE BIOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E AÇÃO DO FOGO NA OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE ENDÊMICA *MELOCACTUS PACHYACANTHUS*

por

FLÁVIA DOS SANTOS BOMFIM

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Instituto de Biologia da Universidade Federal Bahia como exigência para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas

Nome do Orientador: Luisa Maria Diele Viegas
Nome do Coorientador: Fernanda Melo Gomes

Salvador, BA
(2024)

Data da Defesa: 21 de agosto de 2024

Banca Examinadora

Luisa Maria Diele Viegas

Universidade Federal da Bahia

Rayane de Tasso Moreira Ribeiro

Universidade Regional do Cariri

Diego Sales Lucas

Universidade Federal do Ceará

Fernanda Gomes Melo

Universidade Federal da bahia

RESUMO

Ao longo dos anos os ecossistemas vêm experimentando constantemente problemas de perda da biodiversidade, por consequência dos impactos ambientais causados pelas ações antropogênicas. A cactaceae *Melocactus pachyacanthus* é uma espécie endêmica da Caatinga que tem vivenciado esse cenário através do seu atual estado de conservação “em perigo". O objetivo geral deste trabalho é mensurar os impactos das mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e ação do fogo na ocorrência desta espécie. A delimitação da área de estudo compreende a ecorregião Depressão Sertaneja Meridional, Complexo da Chapada Diamantina e Dunas de São Francisco, onde predomina um clima quente, com escassez de chuva e vegetação típica de caatinga. Como metodologia, foi utilizada a Modelagem de Nicho Ecológico - MNE da espécie, para o cenário presente, com base nos seus pontos de ocorrência confirmados e variáveis ambientais, seguida da projeção desse modelo para os cenários futuros e, sobreposições desses modelos aos dados de uso e ocupação do solo e de focos de incêndio. O MNE, para o cenário presente, mapeou uma concentração da adequabilidade bioclimática na ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional. Para os cenários climáticos futuros foi prevista a redução dessa adequabilidade, com expansão para a ecorregião do Complexo da Chapada Diamantina. O resultado do mapa de uso e ocupação mostrou uma evolução de áreas desmatadas, dentro dos períodos avaliados, sobre a área de adequabilidade mapeada para o cenário presente. Também foi identificada a presença do fogo na área de adequabilidade, porém de forma menos expressiva. As mudanças climáticas e a alteração de uso e ocupação do solo são variáveis que apresentam grande impacto na perda da qualidade do habitat da espécie. Para mitigar esses impactos é necessário a criação de planos de manejo com base nos dados de potencial ocorrência da espécie, para que seja possível conservá-las em ambientes que atendam às suas necessidades.

Palavras chave: Caatinga. Adequabilidade bioclimática. Variáveis ambientais

ABSTRACT

Over the years, ecosystems have constantly experienced problems of biodiversity loss, as a result of the environmental impacts caused by anthropogenic actions. The Melocactus Pachyacanthus cactaceae is an endemic species of the Caatinga that reflects this scenario well through its “endangered” conservation status. The general objective of this work is to measure the impacts of climate change, land use and occupation and the action of fire on the occurrence of this species. Ecological Niche - MNE of the species, for the present scenario, based on its confirmed points of occurrence and environmental variables, followed by the projection of this model for future scenarios and, overlays of these models with data on land use and occupation and foci of The MNE, for the current scenario, mapped a concentration of bioclimatic suitability in the Southern Sertaneja Depression ecoregion. For future climate scenarios, a reduction in this suitability was predicted, with expansion to the Chapada Diamantina Complex ecoregion. The result of the use and occupation map showed an evolution of deforested areas, within the evaluated periods, over the area of suitability mapped for the current scenario. Fire interference was not significant in these areas. Climate change and changes in land use and occupation are variables that have a major impact on the loss of the quality of the species' habitat. To mitigate these impacts, it is necessary to create management plans based on data on the species' potential occurrence, so that it is possible to conserve them in environments that meet their needs.

Keywords: Caatinga. Bioclimatic suitability. Environmental variables

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, quem sempre esteve comigo em todos os momentos dessa jornada;

A minha mãe, Maria da assunção pela paciência e apoio incondicional nos momentos em que precisei estar mais dedicada a esse trabalho;

Aos meus irmãos, Genésio e Fernanda, por sempre torcerem por mim e acreditarem no meu trabalho;

A professora Dra. Luisa Maria Diele-Viegas, pela orientação nesse processo, acolhimento e dedicação para comigo desde o momento em que entrei no laboratório BioDiva;

A professora Dra. Fernanda Gomes Melo, pela coorientação, generosidade em compartilhar seus conhecimentos e compreensão durante todo o processo de elaboração deste trabalho;

A Professora Dra. Renata Lucia Leite, pela sua disposição em acompanhar o andamento do trabalho;

A Diogo Souza Caribé, pela paciência com a qual, gentilmente, sanou minhas dúvidas nos momentos de "*delay*";

Aos meus amigos Lídia Campos e Rogério Pereira pelo apoio nos momentos mais difíceis dessa jornada e incentivo a continuar nos momentos de frustração;

A Thieres Santos Almeida, pela enorme contribuição e suporte no desenvolvimento do trabalho;

A Bianca Barros Zaballa e Mateus Almeida Santos, pela troca de conhecimentos, dúvidas e anseios no desenvolvimento de nossos trabalhos;

A Universidade Federal da Bahia, por ter me proporcionado o acesso a todos os conhecimentos adquiridos até aqui e por me ter possibilitado conhecer pessoas incríveis que foram importantíssimos para a elaboração deste trabalho

E, aos membros do laboratório BIODIVA, que ajudaram a enriquecer esse trabalho por meio de suas experiências e sugestões;

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT
AGRADECIMENTOS
ÍNDICE .....(i)
1. INTRODUÇÃO GERAL.....1
2. OBJETIVOS.....4
3. CAPÍTULO 1 5
4. DISCUSSÃO GERAL 22
5. CONCLUSÕES GERAIS 24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 25

ANEXOS
APÊNDICES

1. INTRODUÇÃO GERAL

Ações antrópicas são alterações realizadas na natureza por meio da atividade humana (Zappi, 2011). No Brasil, e principalmente na Bahia, essas alterações foram intensificadas a partir do período colonial, com a produção de culturas agrícolas (Giacometti & Dominschek, 2019). A revolução industrial foi outro grande marco histórico que contribuiu bastante para as modificações no meio ambiente (Giacometti & Dominschek, 2019) através da emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE. Ao longo do tempo, à medida que o capitalismo selvagem se instalava, a antropização também foi sendo fortalecida. Atualmente ela vem afetando cada vez mais os biomas brasileiros (Da-Silva et al., 2022).

A Caatinga representa um desses biomas impactados pelos processos de antropização (Leal et al., 2003). Enquanto domínio fitogeográfico ela é classificada politicamente como região semiárida (Fernandes, 2018). Sua vegetação típica do bioma de Caatinga se insere no bioma global denominado de Florestas e Arbustos Tropicais Sazonalmente Secos - FATSSA. Essa vegetação é bastante rica em diversidade e endemismo, em consequência das condições edafoclimáticas dessa região. Além disso, é marcada por temperaturas elevadas durante a maior parte do ano e possui uma distribuição irregular da precipitação (Fernandes, 2018).

Em meio a essa diversidade temos as cactáceas, família bastante abundante nesse bioma. As características morfofisiológicas desse grupo conferem maior possibilidade de sobrevivência às condições mais severas de seca desse ambiente (Fernandes, 2018). As folhas reduzidas em acúleos (espinhos) impedem a evapotranspiração da planta e o caule suculento funciona como um reservatório de água. Além disso, essas suculentas possuem o metabolismo ácido das crassuláceas - CAM, que também ajuda na economia da água (Taiz & Zeiger, 2017). Nesse processo os estômatos, epiderme vegetal onde ocorrem as trocas gasosas, são fechados durante o dia e abertos durante a noite (Taiz & Zeiger, 2017).

Melocactus é um dos gêneros pertencentes à família das cactáceas, popularmente conhecido como coroa de frade (Cavalcante et al., 2013). Esse nome está associado à morfologia arredondada do seu cladódio, composto por um cefálio central, coberto por cerdas avermelhadas (Batista et al., 2018; Cavalcante et al., 2013). Esse gênero, que ocupa a quarta posição entre os grupos de cactáceas da flora

brasileira (Correia, 2018), possui uma beleza natural potencial para ornamentação. A importância ecológica do Melocactus está relacionada a sua utilização no forrageamento de espécies da região, que atuam como dispersoras do pólen e sementes desse grupo, principalmente em períodos mais rigorosos da estação (Cavalcanti et al., 2013). Além desses usos, ele também possui valor medicinal e místico-religioso (Cavalcanti et al., 2013). No entanto, infelizmente os reflexos deste valor agregado não têm sido muito positivos para as espécies desse gênero.

A lista Oficial de Espécie da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção, reconhecida na data de 14 de dezembro de 2014 pela Portaria n° 148 do Ministério do Meio Ambiente, traz dados bastante preocupantes sobre o atual estado de conservação das espécies que compõem esse gênero (MMA, 2022).

A espécie *Melocactus pachyacanthus (*Fig 01) é uma cactácea endêmica da Caatinga, de hábito subarbusto suculento (Zappi & Taylor, 2023) que tem, atualmente, seu *statu*s de conservação classificado “em perigo” nesta lista (MMA, 2022). Encontrada sobre afloramentos rochosos (Zappi & Taylor, 2023), ela possui 16 pontos de ocorrência confirmados na Bahia. Esses pontos estão localizados na ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional - DSM, na ecorregião do Complexo da Chapada Diamantina- CCD e próximos a Dunas de São Francisco- ASF. Dois dos pontos de ocorrência mencionados se encontram dentro da Unidade de Conservação- UC federal de proteção integral, categorizada como Parque Nacional Boqueirão da Onça (Fig 02). As UCS são áreas protegidas por lei que fazem parte do patrimônio natural de um país e têm o papel fundamental na conservação das espécies, especialmente quando apresentam perigo de extinção.

Lamentavelmente as UCs existentes na ecorregiões da Chapada Diamantina não abrangem as áreas de maior ocorrência da espécie (Fig. 02). E apenas os esforços da proteção internacional contra o comercio ilegal não tem se mostrado suficientes para garantir a manutenção da espécie. Atualmente suas populações se encontram em estado de declínio na natureza. Pesquisas sobre o tema apontam que das cinco populações de *Melocactus pachyacanthus* que se tem conhecimento, quatro apresentam um número bastante reduzido de indivíduos (Martinelli & Moraes, 2013). Esses dados refletem o quanto nossa biodiversidade vem sendo fragilizada ao longo dos anos pelas constantes pressões ambientais ocasionadas pelas ações antrópicas associadas às mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e ação do fogo.

Mudanças climáticas são alterações da temperatura e de seus padrões a longo prazo, decorrentes da emissão de grande quantidade de gases poluentes (Martinelli & Moraes, 2013). Atualmente esse tema está sendo frequentemente discutido por especialistas, devido ao desequilíbrio ecológico que seus efeitos têm causado (IPCC, 2021). Elevações na temperatura, por exemplo, podem contribuir para a desertificação da Caatinga, bioma onde a *Melocactus pachyacanthus* ocorre, bem como, ameaçar a sobrevivência dessa espécie em função do seu crescimento lento e baixa tolerância a perturbações ambientais na fase de desenvolvimento (Cavalcante et al., 2013). Temperaturas muito elevadas também prejudicam os processos fotossintéticos dessa espécie, que apesar de ter um metabolismo CAM, necessita de uma temperatura ideal para seu desempenho (Taiz & Zeiger, 2017).

O uso e ocupação do solo é outra variável influente na ocorrência da espécie em estudo. Grandes áreas de vegetação vem sendo convertidas em plantio e pasto. Essas alterações na cobertura vegetal são fruto, principalmente, da expansão de atividades agrícolas e da pecuária na região do semiárido brasileiro (Tabarelli et al., 2018). Essa conversão se traduz em fragmentação e perda da qualidade de habitat da espécie *Melocactus pachyacanthus* (Martinelli & Moraes, 2013).

Na conversão dessas áreas muitos produtores rurais acabam optando pelo uso do fogo como alternativa. No meio agrícola a queimada é bastante comum como prática de manejo, entretanto, ela pode trazer sérias consequências (Rocha et al., 2022) para a biodiversidade do entorno. Quando realizada de forma não controlada, os focos de incêndio podem se alastrar para as áreas contíguas; causar efeito de borda (Menezes et al., 2019); empobrecimento do solo, assim como, ameaçar a sobrevivência de grupos de lagartos responsáveis pela dispersão da espécie *Melocactus pachyacanthus* (Cavalcante et al., 2013; Rocha et al., 2021).

O crescente quadro de mudanças climáticas, conversão do uso e ocupação do solo em áreas de agropecuária e de expansão dos focos de queimadas no bioma de Caatinga, onde a espécie *Melocactus pachyacanthus ocorre,* são variáveis abióticas com possível influência negativa no potencial de ocorrência da espécie, devido aos impactos que podem causar nesse bioma. Considerando esses impactos, entender os padrões de ocorrência e distribuição dessa espécie são cruciais na criação de estratégias para sua conservação (Paglia et al., 2012). A Modelagem de Nicho Ecológico é uma ferramenta bastante eficiente para essa função, porque ela prevê a

adequabilidade bioclimática da espécie com base no seu nicho realizado (Rangel et al., 2012). A partir dos mapas de adequabilidade é possível cruzar os dados de uso e ocupação do solo e do fogo, com a finalidade de avaliar os impactos das áreas desmatadas e queimadas sobre essas áreas de adequabilidade bioclimáticas(Giannini et al, 2010; Giannini et al, 2012; Paglia et al., 2012).

Portanto, dada a crescente pressão sobre os biomas brasileiros e a necessidade urgente de conservação de espécies ameaçadas, como é o caso da *Melocactus pachyacanthus*, este estudo busca entender melhor os fatores que influenciam a distribuição e a sobrevivência dessa espécie. Utilizando a modelagem de nicho ecológico, espera-se fornecer subsídios para estratégias de manejo e conservação mais eficazes, contribuindo para a preservação da biodiversidade da Caatinga em face das mudanças climáticas e das alterações no uso do solo.

Além disso, a recuperação de áreas degradadas, com potencial bioclimático para ocorrência da espécie, bem como a criação de novas UCs que atendam as necessidades de manutenção da espécie, como é o caso das UCS de proteção integral podem ser medidas mitigadoras mais eficientes e eficazes dos impactos das variáveis abióticas na ocorrência da *Melocactus pachyacanthus.*

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o de mensurar os impactos das mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e ação do fogo na ocorrência da espécie endêmica *Melocactus pachyacanthus*.

Como objetivos específicos esse trabalho propôs:

1. Mapear as áreas de adequabilidade bioclimática para ocorrência da espécie no cenário presente;
2. Projetar a adequabilidade bioclimática dessa espécie para os cenários futuros mais e menos otimistas em relação a emissão de gases poluentes;
3. Avaliar a influência das áreas degradadas e da açã
o do fogo no potencial de ocorrência da espécie.

3. CAPÍTULO 1

Mensuração os impactos causados pelas mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e ações do fogo na ocorrência da espécie endêmica *Melocactus pachyacanthus*

Flávia dos Santos Bomfim[1]; Thieres Santos-Almeida[1,2]; Luisa Maria Diele-Viegas[1]; Bianca Barros Zaballa[1]; Mateus Almeida-Santos[1]; Fernanda Melo Gomes[1]

1 Laboratório de (Bio)diversidade no Antropoceno, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

2 Programa de pós graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Resumo

No decorrer dos anos, a biodiversidade tem experimentado fortes pressões em consequência das ações antropogênicas. Na diversidade vegetal brasileira, a cactaceae *Melocactus pachyacanthus* é uma espécie endêmica da caatinga que tem os efeitos desses impactos refletidos no seu *estado* de conservação, atualmente “em perigo". O objetivo deste trabalho é mensurar os impactos das mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e ação do fogo na ocorrência desta espécie. A área de estudo compreende as seguintes ecorregiões da Chapada Diamantina no Estado da Bahia, Brasil: Depressão Sertaneja Meridional, Complexo da Chapada Diamantina e Dunas de São Francisco, onde predomina um clima quente, com escassez de chuva e vegetação típica de caatinga. Como metodologia, foi utilizada a Modelagem de Nicho Ecológico - MNE da espécie, para o cenário presente, com base nos seus pontos de ocorrência confirmados e variáveis ambientais, seguida da projeção desse modelo para os cenários futuros e, sobreposições desses modelos aos dados de uso e ocupação do solo e de focos de incêndio. O MNE, para o cenário presente, mapeou uma concentração da adequabilidade bioclimática na ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional. Para os cenários climáticos futuros foi prevista a redução dessa adequabilidade, com expansão para a ecorregião do Complexo da Chapada Diamantina. O uso e ocupação do solo se mostrou uma variável influente na perda de áreas de adequabilidade bioclimáticas, no cenário presente. Entretanto a interferência do fogo foi pouco expressiva nessas áreas. Identificamos neste estudo a importância da MNE como ferramenta essencial para mitigar os impactos causados à espécie, e sua relevância na criação de Áreas de Proteção Ambiental, e ainda, destacamos a influência significativa do uso e ocupação do solo na perda de áreas adequadas para a ocorrência de *M. pachyacanthus.*

Palavras chave: Adequabilidade bioclimática. Caatinga. Cactaceae. Modelagem de Nicho Ecológico

Introdução

Em face às constantes alterações causadas pelas ações antrópicas envolvendo as mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e queimadas no bioma de Caatinga, mensurar os possíveis impactos dessas ações antropogênicas sobre a biodiversidade local tem se mostrado uma ação cada vez mais necessária (Silva 2023).

A Caatinga é um bioma de clima tropical semiárido, marcado por temperaturas médias anuais elevadas e longos períodos de estiagem (Fernandes 2018). Suas características edafoclimáticas específicas lhe têm conferido uma riqueza em diversidade e endemismo de espécies (Taiz & Zeiger 2006). No entanto, lamentavelmente as espécies endêmicas desse bioma vêm sendo frequentemente afetadas por essas ações antrópicas (Cavalcante et al. 2013; Tabarelli et al. 2018; Silva et al. 2023).

Representando as espécies endêmicas da Caatinga, *Melocactus pachyacanthus* Buining & Brederoo (Fig. 1) é uma cactácea (Martinelli & Moraes 2013) de hábito subarbustivo suculento que é encontrada sobre afloramentos rochosos planos (Zappi & Taylor 2023), onde ocorre a exploração do calcário exposto (Zappi et al. 2011).

Os usos conhecidos desta espécie são para fins ecológicos, no forrageamento de animais típicos da caatinga, de hábitos frugívoros e nectarívoros (Cavalcante et al. 2013), místico-religioso e econômicos como planta ornamental (Martinelli & Moraes 2013). De crescimento lento, um fator importante é que essa espécie, é bastante vulnerável a perturbações ambientais, que envolvem aumentos da temperatura e a perda da qualidade de habitat em seus estágios iniciais de desenvolvimento (Cavalcante et al. 2013).

Essa condição de vulnerabilidade é bastante preocupante, visto que as projeções de mudanças climáticas futuras para o bioma de Caatinga são pessimistas, com as frequentes emissões de Gases poluentes de Efeito Estufa (GEE). Reduções no seu índice de precipitação e aumentos das taxas de temperatura anual tendem a levar a desertificação desta região (Tavares & Ramos 2016; Tavares et al. 2019). A exploração do solo, para fins agrícolas, é outro fator de grande impacto sobre esse bioma (Martinelli & Moraes 2013). A prática intensiva da agropecuária é uma das principais responsáveis por converter áreas de vegetação nativa em plantio de monoculturas e pasto (Martinelli & Moraes 2013). Além disso, os focos de incêndio também vem crescendo bastante na Caatinga e podem estar diretamente associados às mudanças climáticas (Diele-Viegas et al. 2022; Boff 2018). Nessa região, a crescente expansão do fogo está mais relacionada ao desmatamento ilegal, para uso e ocupação do solo (Silva et al. 2023) e pode empobrecer os atributos nutricionais do solo local (Macedo 2023).

Possivelmente essas ações antrópicas tendem a impactar no potencial de ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus*, que atualmente já se encontra “Em Perigo” de extinção - EP (MMA 2022) na natureza. Devido a necessidade de conservação dessa espécie, o objetivo deste trabalho foi de mensurar os impactos das ações antrópicas referente a mudanças

climáticas, uso do solo e ação do fogo na ocorrência da espécie *M. pachyacanthus.* Os objetivos específicos foram: I. mapear as potenciais áreas de adequabilidade bioclimática para ocorrência da espécie *M. pachyacanthus* no cenário presente; II. prever a adequabilidade bioclimática potencial para ocorrência da espécie *M. pachyacanthus* considerando os cenários futuros mais ou menos otimistas em relação à emissão de GEE, e, III. avaliar a interferência do uso e ocupação do solo e do fogo no potencial de ocorrência da *M. pachyacanthus,* no cenário presente.

A Modelagem de Nicho Ecológico (MNE) é uma abordagem bastante utilizada por ecólogos, para prever os padrões de distribuição e ocorrência das espécies (Barbet-Massin 2012). A partir da MNE é possível gerar mapas de adequabilidade ambiental da espécie com base no seu nicho realizado, bem como, projetar esses modelos para diferentes cenários ambientais (Barbet-Massin 2012). A identificação dessa adequabilidade é fundamental para definir as potenciais áreas de ocorrência da espécie a serem restauradas e protegidas.

A criação de Unidades de Conservação - UCs são fundamentais nesse processo de mitigação dos impactos das ações antrópicas na ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus*. As UCs são áreas protegidas por lei, criadas com o propósito de conservação da biodiversidade, com categorias que podem ser adequadas à necessidade de proteção da espécie, considerando o grau de ameaça de extinção na natureza. Junto com a criação de UCs também é importante que haja um plano de recuperação para as áreas degradadas nos locais de ocorrência confirmada da espécie, bem como para as áreas identificadas como potencial de adequabilidade bioclimática.

Fig. 01 *Melocactus pachyacanthus a. em fase de desenvolvimento b. com cefálio formado c. Flores presentes.*

Metodologia

Área de estudo

O delineamento da área de estudo compreende as três ecorregiões da Chapada Diamantina na Bahia, Brasil: Depressão Sertaneja Meridional - DSM, Complexo da Chapada Diamantina - CCD e Dunas de São Francisco - DSF (Figura 2). O recorte considerou a localização dos pontos de ocorrência conhecidos da *Melocactus pachyacanthus.*

A ecorregião da DSM compreende uma área de 373,900 km², com exceção da ecorregião do Complexo de Campo Maior, ela faz limítrofe com todas as ecorregiões da Chapada. O CCD e as DSF são totalmente englobadas por ela. Sua vegetação é mais típica do semiárido-árido nordestino e o clima predominante é quente e semiárido (Velloso et al. 2002).

O CCD possui 50,610 km². Localizada no centro-sul da Caatinga é considerada a parte mais alta do bioma. O retrabalhamento intenso sofrido por essas áreas têm causado a formação de vales profundos. O clima dessa ecorregião vai de quente a tropical na parte oeste e tropical a semiárido na porção leste (Velloso et al., 2002).

A área das DSF é uma parte do centro-oeste do bioma que compreende uma área de 36,170 km². De clima muito quente e semiárido, essa ecorregião possui um solo com temperatura alta e é formada por extensos parques eólicos com vegetação de caatinga agrupada em moitas (Velloso et al., 2002).

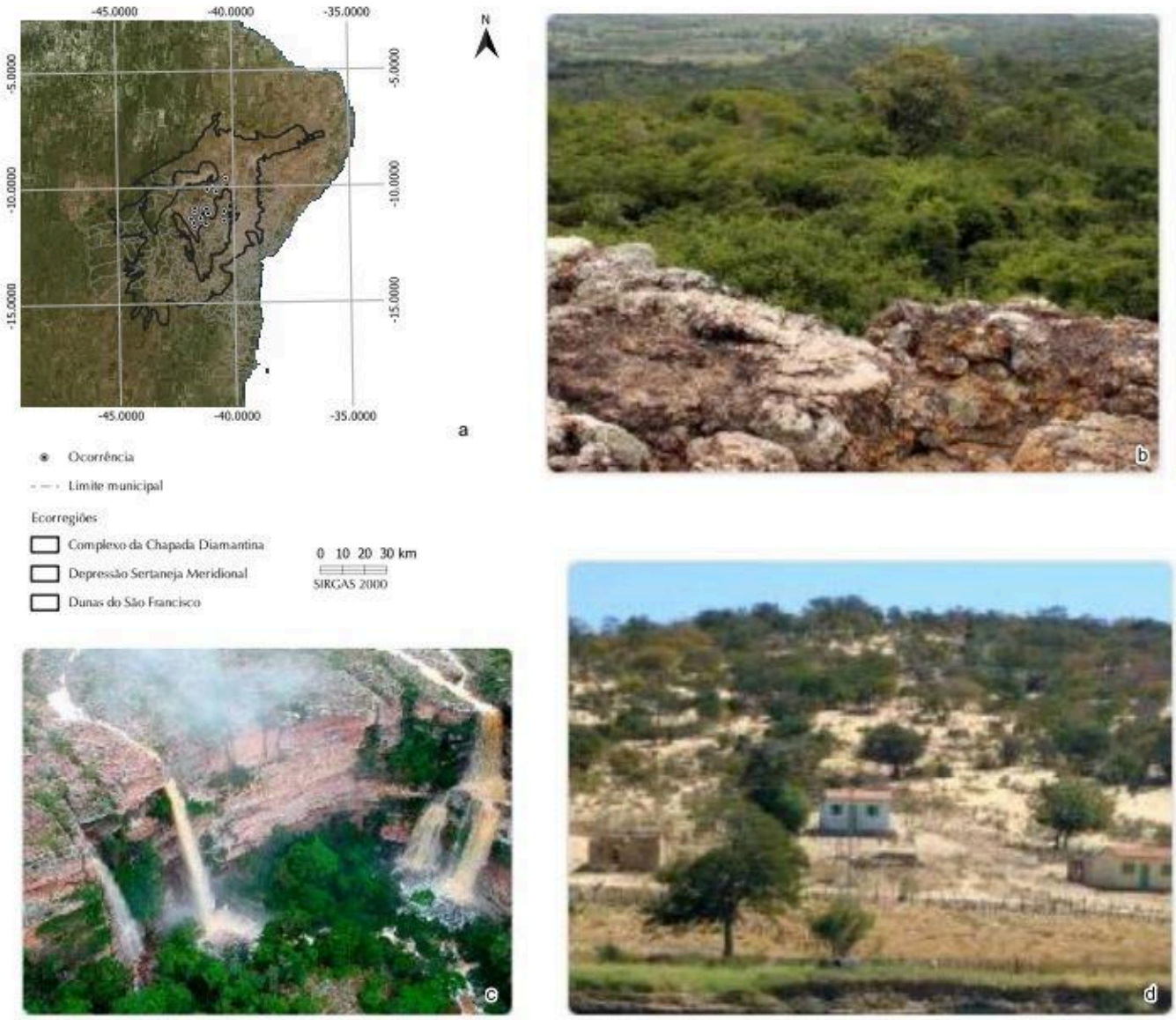

Fig.2 a Localização dos pontos de ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus* na área de estudo, composta pelas ecorregiões Depressão Sertaneja meridional, Complexo da Chapada Diamantina e Dunas de São Francisco, Bahia, Brasil; b. Paisagem da depressão Sertaneja meridional; c. paisagem do Complexo da chapada diamantina; d. Paisagem de dunas de São Francisco. Fonte: Flávia Bomfim e issuu.com.

Espaço geográfico

As ocorrências da espécie foram coletadas na base de dados Global Biodiversity Information Facility (GBIF, https://www.gbif.org/). Ao total foram encontradas 33 ocorrências. Os pontos de ocorrência foram filtrados para remoção de pontos no oceano, centroides de municípios e ocorrências duplicadas. Os 16 pontos restantes foram utilizados para realizar a modelagem correlativa com variáveis bioclimáticas.

Espaço Ambiental

0

As 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim 2.0 foram coletadas com 2,5' arc-minutos (~5 x 5km) (Fick & Hijmans 2017). Recortamos as variáveis para a extensão da área de estudo e removemos as variáveis bioclimáticas 8, 9, 18 e 19. Estas variáveis combinam dados de precipitação e temperatura e apresentam anomalias em formato de descontinuidades espaciais que são irreais (Escobar et al. 2014). Para reduzir a colinearidade, removemos as variáveis correlacionadas ($r > |0,7|$) através da Correlação de Pearson (Dormann et al. 2013. As variáveis bioclimáticas não correlacionadas, selecionadas para o modelo foram: BIO3- Isotermalidade (BIO2/BIO7) (×100), BIO10- Temperatura média do trimestre mais quente e BIO,12 - Precipitação anual.

Escolha do algoritmo

O processo de modelagem se deu através dos algoritmos Bioclim (Rangel & Loyola 2012), Support Vector Machine - SVM (Rangel & Loyola 2012) e Generalized Linear Model - GLM (Rangel & Loyola 2012). Para cada algoritmo foram geradas 10 réplicas em Bootstrap com 70% das ocorrências para treino e 30% para teste. Para o teste dos modelos, foram gerados pontos de pseudo-ausência de forma aleatória. No total foram criados 10.000 pontos de pseudo-ausência para o GLM, que corresponde a 10 vezes a quantidade de pontos de presença (16 pontos) para os algoritmos Bioclim e SVM (Barbet-Massin et al. 2012). Os modelos foram testados utilizando a métrica Area Under Curve (AUC). Esta métrica vai de 0 a 1 onde valor igual ou menor a 0,5 indicam uma predição não diferente do acaso e valores de AUC superiores a 0,75 são considerados satisfatórios (Iwashita, 2007). Baseado no AUC, selecionamos as melhores réplicas de cada algoritmo para gerar um mapa consensual através da média dos modelos ponderada pelo AUC (Diniz-Filho et al. 2010).

Projeção e sobreposição do modelo

Projetamos o modelo consensual para o ano de 2041-2060 (citado como 2050 daqui pra frente), utilizando o cenário shared socioeconomic pathways (SSP) SSP2 45 e SSPS2 85 (IPCC. 2021). O cenário SSP2 45 prevê emissão intermediária de gases do efeito estufa que se estabilizam em 2050 gerando aumento de 2.0 °C enquanto o cenário SSP5 85 prevê emissões muito altas de gases do efeito estufa que triplicam a partir de 2075 com aumento de 2.4 °C em 2050 (IPCC. 2021). As projeções climáticas futuras foram realizadas com o ensemble (média) de três modelos de circulação global (GCM) do Coupled Model Intercomparison Project Phase Six (CMIP6) (Eyring et al. 2016). Selecionamos os GCMS com melhor performance na América do Sul (Oliveira et al. 2023): (1) Beijing Climate Center model (BCC-CSM2-MR); (2) Institute Pierre Simon Laplace model (IPSL-CM6A-LR); and (3) Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC6).

Com o modelo gerado no presente, estimamos o threshold para a adequabilidade que maximize a métrica de validação True Skill Statistic (TSS, Andrade et al. 2020). O threshold foi utilizado para transformar os modelos do presente e as projeções para o futuro em mapas binários (presença/ausência). Para entender o impacto do uso do solo e das queimadas no habitat da espécie, sobrepomos os modelos binarizados aos mapas de uso de solo e separadamente aos mapas de queimadas. Os mapas temáticos da coleção 8 do projeto MapBiomas (Jr-Souza et al. 2020) e os mapas de queimadas (MapBiomas, https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/monitor-do-fogo) foram utilizados na sobreposição do presente.

Resultados

Mapeamento da Adequabilidade bioclimática da espécie *Melocactus pachyacanthus* para o cenário presente

O MNE da espécie *M. pachyacanthus*, para o cenário presente, previu uma área de adequabilidade bioclimática correspondente a aproximadamente 16.278,90278 km², referente às três ecorregiões de interesse. Na ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional a área foi de aproximadamente 41300.93056 km²; seguida do Complexo da Chapada com 16278.90278 km², e da região Dunas de São Francisco com 54.136204 km² (Tabela. 1).

Tabela 1- Cálculo das áreas de adequabilidade climática sem interferência das variáveis fogo e uso e ocupação do solo e cálculo da adequabilidade com interferência das variáveis fogo e uso e ocupação do solo, considerando os anos de 1995, 2005, 2015 e 2022 para cada variável.

Ecorregião	Variável	Área (km²)	Tipo mapa	ano
Complexo da Chapada	Sdm.presente	16278.90278	Sdm	Total
Complexo da Chapada	Fogo.presente	16278.90278	Fogo	1995
Complexo da Chapada	Fogo.presente	16278.90278	Fogo	2005
Complexo da Chapada	Fogo.presente	16173.88851	Fogo	2015
Complexo da Chapada	Fogo.presente	16154.33523	Fogo	2022
Complexo da Chapada	Uso solo.presente	13130.16218	Uso do solo	1995
Complexo da Chapada	Uso solo.presente	13370.66189	Uso do solo	2005

Complexo da Chapada	Uso solo.presente	12375.45984	Uso do solo	2015
Complexo da Chapada	Uso solo.presente	12554.6199	Uso do solo	2022
Dunas do São Francisco	Sdm.presente	54.136204	Sdm	Total
Dunas do São Francisco	Fogo.presente	54.136204	fogo	1995
Dunas do São Francisco	Fogo.presente	54.136204	fogo	2005
Dunas do São Francisco	Fogo. presente	54.136204	fogo	2015
Dunas do São Francisco	Fogo.presente	54.136204	fogo	2022
Dunas do São Francisco	Uso solo.presente	54.136204	Uso do solo	1995
Dunas do São Francisco	Uso solo.presente	54.136204	Uso do solo	2005
Dunas do São Francisco	Uso solo.presente	54.136204	Uso do solo	2015
Dunas do São Francisco	Uso solo.presente	54.136204	Uso do solo	2022
Depressão Sertaneja Meridional	Sdm.presente	41300.93056	Sdm	Total
Depressão Sertaneja Meridional	Fogo.presente	41300.93056	Fogo	1995
Depressão Sertaneja Meridional	Fogo.presente	41300.93056	Fogo	2005
Depressão Sertaneja Meridional	Fogo.presente	41279.86483	Fogo	2015
Depressão Sertaneja Meridional	Fogo.presente	41278.30835	Fogo	2022
Depressão Sertaneja Meridional	Uso solo.presente	26579.2041	Uso do solo	1995
Depressão Sertaneja Meridional	Uso solo.presente	26239.04563	Uso do solo	2005
Depressão Sertaneja Meridional	Uso solo.presente	23976.94566	Uso do solo	2015

Depressão Sertaneja Meridional	Uso solo.presente	24902.58022	Uso do solo	2022

Em relação aos valores de adequabilidade, esse modelo apresentou uma variação crescente de 0,6 % a 0,8%. Na ecorregião da DSM, onde estão localizados 81,25% dos pontos de ocorrência conhecidos da espécie, foi verificada uma maior área de adequabilidade bioclimática com valor próximo de 0,8.

Já na ecorregião do CCD, onde são conhecidos 18,75% dos pontos conhecidos da espécie, a adequabilidade ficou mais próxima de 0,6%; valor maior em relação às DSF. Nesta ecorregião onde não há registros de ocorrência da espécie, a adequabilidade ficou abaixo de 0,6% (Fig. 2).

Predição da Adequabilidade bioclimática da espécie *Melocactus pachyacanthus* para os cenários futuros de mudanças climáticas mais e menos otimistas

Nas projeções climáticas para o cenário futuro mais otimista, em relação à emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), o modelo previu uma adequabilidade variando de 0,6% a 0,8%. Na ecorregião da DSM, o valor percentual da adequabilidade variou de 0,7% a 0,75%. Já na ecorregião do Complexo da Chapada Diamantina, onde houve uma expansão da área de adequabilidade, os valores observados ficaram próximos de 0,6%, valor maior em relação a DSF, que ficou abaixo de 0,6% (Fig. 3). Em relação ao cenário presente foi observada a redução de áreas de adequabilidade com valores próximos a 0,8%, na DSM.

As projeções climáticas, para o cenário futuro menos otimista em relação à emissão de gases de efeito estufa, também previram uma variação da adequabilidade de 0,6% a 0,8%. Na ecorregião da DSM, a porcentagem de adequabilidade variou de 0,6% a 0,8%. Já na ecorregião do CCD a adequabilidade ficou mais próximo de 0,6%; em DSF, ela ficou abaixo de 0,5% (Fig. 3). Nesse mapa houve uma redução ainda maior de áreas de adequabilidade com valores próximos a 0,8% na DSF. No entanto, foi percebido uma expansão de áreas de adequabilidade com percentuais próximos a 0,7% no CCD.

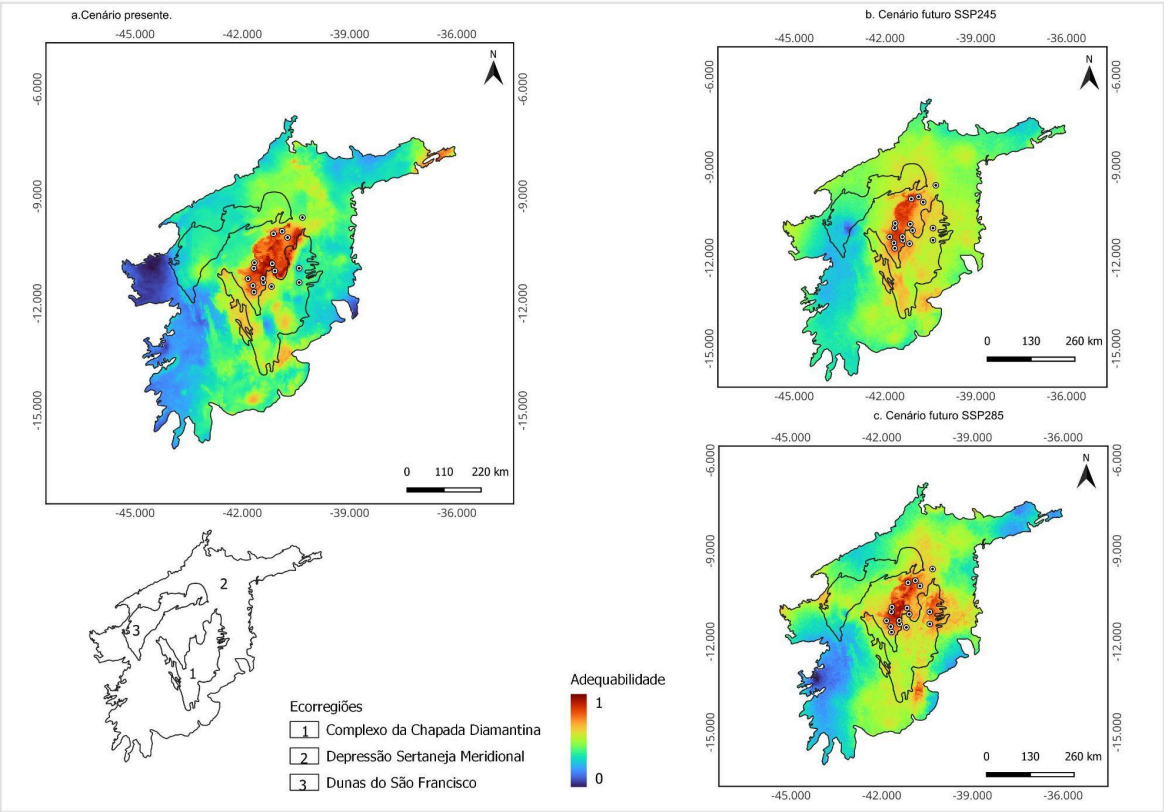

Fig.3 **a** Mapa de adequabilidade bioclimática para o cenário presente da espécie *Melocactus pachyacanthus* com espacialização dos pontos de ocorrência. **b** Mapa de adequabilidade climática projetado para o cenário futuro SSP2 45 com espacialização dos pontos de ocorrência. **c** Mapa de adequabilidade climática projetado para o cenário futuro SSP2 85 com espacialização dos pontos de ocorrência.

Interferência do uso e ocupação do solo na ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus* no cenário bioclimático presente

Os mapas de uso e ocupação do solo indicaram sobreposição de áreas com alteração da cobertura vegetal às possíveis áreas de adequabilidade bioclimática da espécie *Melocactus pachyacanthus* (Fig. 4). Também houve sobreposição dessas áreas alteradas com o nicho realizado por algumas populações. Para a ecorregião da DSM o percentual de sobreposição de áreas decrementadas, referentes ao ano de 1995, nas áreas de adequabilidade bioclimáticas foi de aproximadamente 35,6450%.

Na sequência, os mapas de uso-solo dos anos (2005, 2015 e 2022) apresentaram sobreposição de aproximadamente 36,4686%, 41,9457% e 39,7045 %, respectivamente, à área de adequabilidade bioclimática prevista no modelo presente.

No CCD a sobreposição das áreas antropizadas, mapeadas no ano de 1995, às áreas de adequabilidade bioclimática foi de aproximadamente 19,3424%. Em 2005 a sobreposição foi de aproximadamente 17,8650%. Em 2015, foi de aproximadamente 23,9683%; E, em 2022 a sobreposição foi de aproximadamente 22,8779%.

Para a ecorregião de DSF o mapa não previu sobreposição de áreas antropizadas à área de adequabilidade bioclimática.

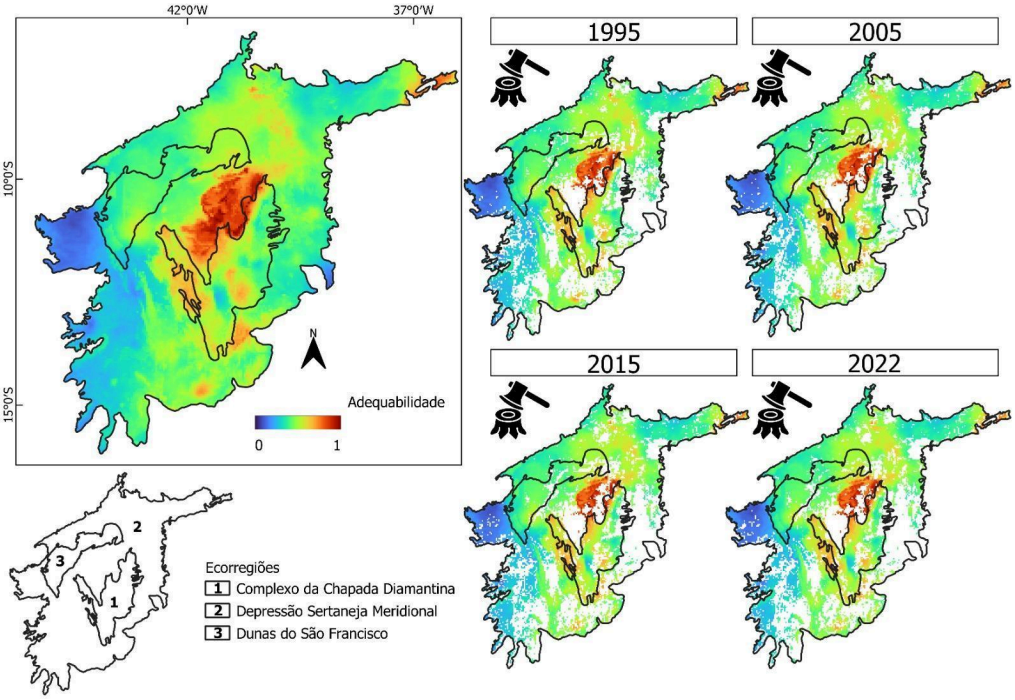

Fig. 4 O mapa na margem superior a esquerda representa a adequabilidade bioclimática da espécie *Melocactus pachyacanthus* no cenário presente. À esquerda inferior, temos o mapa de representação das ecorregiões DSM, CCD e DSF. Na margem esquerda os mapas de sobreposição das áreas de desmatamento, referentes ao apanhado dos anos de 1995, 2005, 2015 e 2022 , respectivamente, ao mapa de adequabilidade bioclimática.

Interferência do fogo na ocorrência da *Melocactus pachyacanthus* no cenário bioclimático presente

Na ecorregião da DSM os mapas de fogo, referentes ao período de 1995 e 2005 não identificaram sobreposição de queimadas às potenciais áreas de adequabilidade bioclimáticas da espécie. No entanto, para o período de 2015 e 2022 os percentuais de sobreposições foram 0,05100% e 0,05477%, respectivamente (Fig. 5).

Em relação à ecorregião do CCD, os mapas de fogo não identificaram a presença de focos de incêndio nas potenciais áreas de ocorrência da espécie entre o período 1995-2005. Já para os períodos de 2015 e 2022 foi identificada sobreposição, de 0,645% e 0,7652%, respectivamente, de focos de incêndios nas potências áreas de adequabilidade bioclimáticas (Fig. 5).

Os resultados para sobreposição do fogo às áreas de adequabilidade bioclimática presente, referentes aos períodos de 1995, 2005, 2015 e 2024, nas DSF foram negativos. O mapa de fogo não mostrou sobreposição das áreas de queimadas aos pontos de ocorrência da espécie em estudo (Fig. 5).

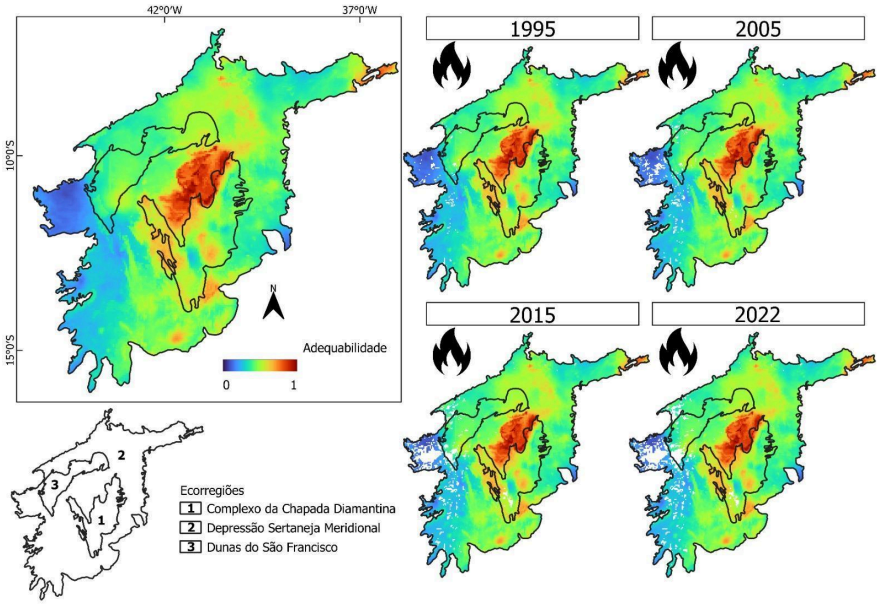

Fig. 5 O mapa na margem superior a esquerda representa a adequabilidade bioclimática da espécie *Melocactus pachyacanthus* no cenário presente. À esquerda inferior, temos o mapa de representação das ecorregiões DSM, CCD e DSF. Na margem esquerda os mapas de sobreposição das áreas queimadas, referentes ao apanhado dos anos de 1995, 2005, 2015 e 2022, respectivamente, ao mapa de adequabilidade bioclimática.

Discussões

O resultado do mapa de adequabilidade bioclimática para o cenário presente mostrou que a espécie *Melocactus pachyacanthus* é mais propensa a ocorrer em ambientes onde o valor da adequabilidade bioclimática é maior (Paglia et al. 2012). Essa necessidade por ambientes com temperaturas mais favoráveis está relacionada à baixa tolerância da espécie a ambientes mais perturbados nos estágios iniciais do seu desenvolvimento, bem como ao seu crescimento lento (Cavalcante et al. 2013). A ecorregião que mostrou maior potencial de adequabilidade bioclimática para ocorrência da espécie foi a DSM. Possivelmente as chances de sobrevivência da espécie serão maiores neste local(Zappi et al. 2011).

Esse mapa também mostrou que algumas populações ocorrem em áreas que apresentam um menor potencial de adequabilidade bioclimática no cenário presente. É possível que o clima experimentado pela espécie na ecorregião CCD esteja sendo influenciado pelo seu microclima local (Kearney et al. 2014). Nesta região as condições edafoclimáticas são um pouco distintas em relação às demais, devido a formação de ilhas por processos de isolamento (Velloso et al. 2002).

Para a ecorregião da DSM a intensificação das mudanças climáticas (Cavalcante et al. 2013) são refletidas na redução da adequabilidade bioclimática prevista para este local, nos cenários futuros (Pritchard & Harrot 2010). Com essa perda da qualidade do habitat, a manutenção da *Melocactus pachyacanthus* nesses locais, exigiria uma adaptação a esse novo cenário (Pritchard & Harrot, 2010). No entanto, isso seria pouco provável, devido ao curto espaço de tempo em que as mudanças climáticas vêm ocorrendo (Pritchard et al. 2010). Nesse contexto bioclimático a migração ou dispersão poderia ser uma alternativa para evitar a extinção da espécie.

Para pensar em migração como medida de sobrevivência é fundamental considerar também a influência do uso e ocupação do solo, que tem forte influência nos processos de preservação da espécie (Pritchard & Harrop 2010). Atualmente as práticas agrícolas têm sido uma das principais responsáveis pela destruição e fragmentação do habitat dessa espécie (Tabarelli et al, 2018). O que torna menos viável a colonização das populações em novas áreas (Pritchard & Harrop 2010). O mapa de uso e ocupação do solo representa o crescimento de áreas degradadas no decorrer dos anos (1995, 2005, 2012 e 2022). Esse crescimento foi observado na área de nicho fundamental e nas áreas de ocorrência da espécie. Apesar de ainda resistirem nessas áreas degradadas, o número de população da espécie está cada vez mais em declínio (Martinelli & Moraes 2013).

O fogo também tem se mostrado cada vez mais presente no Bioma da Caatinga (Silva et al. 2023; Jesus et al. 2020). Os mapas que representam os resultados dos impactos do fogo mostraram uma evolução de focos de incêndio nas áreas de adequabilidade climática previstas para o cenário presente, porém os valores percentuais que indicam a presença desses focos não são significativos. Apesar disso, o fogo pode representar um risco iminente para a ocorrência da espécie, devido às práticas de queimadas não controladas que proporcionam expansão do fogo para as áreas do entorno, causando prejuízo à qualidade do solo e à vegetação (Baker et al. 2013; Luz et al. 2023).

A partir desses resultados é possível começar a pensar em medidas com foco em minimizar os impactos das ações antropogênicas na ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus* (Zappi et al. 2011). Uma delas seria a criação de planos de recuperação das áreas degradadas em potenciais áreas de adequabilidade bioclimática. Como está prevista uma redução da adequabilidade bioclimática para os cenários futuros, a restauração de áreas bioclimaticamente adequadas em estado de degradação seria um dos caminhos mais possíveis.

Em conjunto com essa ação, a criação de UCS de proteção integral que garantam a proteção dessas áreas é fundamental nesse processo, principalmente pelo fato de as UCs serem áreas legalmente protegidas, criadas por lei com o intuito de preservar a biodiversidade (Boff 2018; Brasil 2000). A previsão de potenciais áreas de adequabilidade ambiental também contribui positivamente para um plano de manejo mais eficaz na conservação da espécie *M. pachyacanthus* (Rangel & Loyola 2012), por mapear as áreas que reúnem as condições ambientais mais favoráveis à sobrevivência dessa espécie (Paglia

et al. 2012). É fundamental também que o plano de manejo desta UC observe essas necessidades quanto a sua elaboração (Rangel & Loyola 2012), para que essas áreas recebam a categorização correta em relação aos seus usos (Brasil 2000).

Conclusões

As variáveis mudanças climáticas e uso e ocupação do solo são fatores de grande impacto na ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus,* através da redução de áreas ambientalmente adequadas para sua conservação. Embora a interferência do fogo tenha sido pouco expressiva nas áreas analisadas, este fator não deve ser negligenciado em estratégias de conservação. Portanto, é importante o acompanhamento da evolução dos focos de queimadas próximos às áreas de nicho fundamental e realizado da espécie.

Ressalta-se, ainda, que a predição de potenciais áreas de ocorrência dessa espécie, com base nos diferentes cenários ecológicos da MNE, é crucial para criação de UCs, bem como, para orientar ações de conservação mais acertivas, assegurando a preservação desta espécie que já está em perigo de extinção. Além disso, para um manejo eficiente e eficaz, é importante a ação conjunta de ações mitigadoras desses impactos com medidas preventivas, que visem a criação de um sistema de monitoramento voltado à proteção dessas espécies em seu habitat natural.

Reconhecimentos

Agradecemos a importante contribuição dos colegas do laboratório BioDivA nas versões anteriores deste manuscrito

Contribuição dos autores

A elaboração do material gráfico foi realizada por Flávia dos Santos Bomfim e Thieres Santos Almeida. O primeiro rascunho do manuscrito foi escrito por Flávia dos Santos Bomfim e todos os autores comentaram versões anteriores do manuscrito. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final."

Interesses competitivos

Os autores não têm interesses financeiros ou não financeiros relevantes a divulgar.

Referências

ANDRADE AFA, VELAZCO SJE, JUNIOR PDM (2020). ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. Environmental Modelling & Software, 125, 104615.

BAKER SC, ESPIÕES TA, WARDLAW TJ, BALMER J, FRANKLIN JF, JORDAN GJ (2013) O lado colhido das bordas: Efeito das florestas retidas no restabelecimento da biodiversidade em áreas exploradas adjacentes. Forest Ecology and Management. V. 302:107-121. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112713001710?via%3Dihub

BARBET-MASSIN M, Jiguet, F, Albert CH, Thuiller W (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many?. Methods in ecology and evolution, 3(2): 327-338.https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00172.x

BOFF M. (2018) Caatinga tem novas unidades de conservação. Cienc. Cult. vol.70 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2018.http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400015

BRAMER I et al (2018). Chapter Three - Advances in Monitoring and Modelling Climate at Ecologically Relevant Scales. Advances in Ecological Research. Academic Press. V.58. 2018,101-161, ISSN 0065-2504, ISBN. 9780128139493. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065250417300302?via%3Dihub

BRASIL. Lei n° 9985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasil. Brasília, DF.https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm.

BRASIL. Portaria MMA n° 148 de 07 de junho de 2022. Referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Brasil. Brasília, DF. 108ed. Seção.1: P.74.https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733

CAVALCANTE A, TELES M, MACHADO M (2013). Cactos do semiárido Brasil. Guia ilustrado. Ed 1. Editora Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande-PB. https://www.researchgate.net/publication/271519077_Cactos_do_semiarido_do_Brasil_Guia_ilustrado

DIELE-VIEGAS LM et al. (2022). We're building it up to burn it down: Fire occurrence 2 and fire-related climatic patterns in Brazilian biomes. Pubmed. coleção eletrônica.https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36312759/

DINIZ-FILHO FAF, FERRO VG, SANTOS B, NABOUT JC, DOBROVOLSKI R, JR-DEMARCO P (2010). The three phases of the ensemble forecasting of niche models: geographic range and shifts in climatically suitable areas of Utetheisa ornatrix (Lepidoptera, Arctiidae).Review. Rev. Bras. entomol. 54 (3). https://www.scielo.br/j/rbent/a/QwjN9TX7NW5pPkrXMc87RMG/#

DORMANN CF, ELITH J, BACHER S, BUCHMANN C, CARL G, CARRÉ G, GARCIA MARQUÉZ JR, GRUB B, LAFOURCADE B, LEITÃO PJ, MÜNKEMÜLLER T, MCCLEAN C, OSBORNE PE, REINEKING B, SCHRÖDER B,

SKIDMORE AK, ZURELL D, LAUNTENBACH (2013). COLLINEARITY: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. Ecography, *36*(1), 27-46.https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x

EYRING V, BONY S MEEHL GA, SENIOR CA, STEVENS B, STOUFFER JR, TAYLOR KE (2015).Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Received: 3 December 2015 – Published in Geosci. Model Dev. Discuss.: 14 December 2015 Revised: 15 April 2016 – Accepted: 27 April 2016 – Published: 26 May 2016.https://gmd.copernicus.org/articles/9/1937/2016/gmd-9-1937-2016.pdf

ESCOBAR LE, LIRA-NORIEGA A, MEDINA-VOGEL G, Townsend Peterson A. (2014). Potential for spread of the white-nose fungus (Pseudogymnoascus destructans) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health*, *9*(1), 221–229.https://doi.org/10.4081/gh.2014.19

FERNANDES MF, QUEIROZ LP (2018). Vegetação e flora da Caatinga. Cienc. Cult. vol.70 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2018.http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci _ arttext & pid=S0009-67252018000400014

FICK SE, & HIJMANS RJ. (2017). WorldClim 2: new 1‐km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, *37*(12): 4302-4315.

FR-SOUZA CM et al. (2020). Reconstruindo três décadas de mudanças no uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros com o arquivo landsat e earth engine.Sensoriamento Remoto 2020, 12 (17), 2735. https://doi.org/10.3390/rs12172735

GIANNINI TC, SIQUEIRA MF, ACOSTA AL, BARRETO FCC, SARAIVA AM, ALVES-DOS-SANTOS .I. (2012). Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies.Artigo de Revisão. Rodriguésia 63 (3). https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000300017

IPCC. Mudanças do clima (2021) a base científica. Painel Intergovernamental sobre mudanças do clima. Sumário para formuladores de políticas. Arte e layout da capa de Alisa Singer 2021 Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf.

IWASHITA, F (2007) Sensibilidade de modelos de distribuição de espécies a erros de posicionamento de dados de coleta (2007). Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em .Sensoriamento Remoto, Orientada pelos Drs. Silvana Amaral Kampel e Antonio Miguel Vieira Monteiro. aprovada em 30 de março de 2007. INPE. São José dos Campos. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266521013_SENSIBILIDADE_DE_MODELOS_DE_DISTRIBUICAO_DE_ESPECIES_A_ERROS_DE_POSICIONAMENTO_DE_DADOS_DE_COLETA

JESUS JB, ROSA CN, BARRETO IDC, FERNANDES MM (2020). Análise da incidência temporal, espacial e de tendências de fogo nos biomas e Unidades de Conservação do Brasil. Artigos. Ciênc. Florest.30 (01). https://doi.org/10.5902/1980509837696

kEARNEY MR, ISAAC AP, PORTER WP (2014). Microclim: Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages. https://www.nature.com/articles/sdata20146

LUZ MN, DA SILVA HENRIQUE G, DELFINO RCH, LEITE AP (2023). Comportamento do fogo em espécies nativas da Caatinga na região geográfica imediata de Patos-PB. Artigos Ci. Fl. 33 (3). https://doi.org/10.5902/1980509873573

MACEDO RS, MORO L, LAMBAIS EO, LAMBAIS GR, BAKKER AP (2023). Efeito da degradação nos atributos de solos sob a caatinga no semiárido brasileiro. Artigo científico. Rev. Arvore (47). https://doi.org/10.1590/1806-908820230000002

MAPBIOMAS. BRASIL. (2024). Dados monitor mensal do fogo. https://brasil.mapbiomas.org/dados-monitor-mensal-do-fogo

MARTINELLI G, MORAES A (2013) Livro vermelho da Flora do Brasil, Rio de Janeiro, ed. 2013. https://www.researchgate.net/profile/Marcelo_Menezes2/publication/273000307_Cactaceae/links/54f48fca0cf2f28c1361e233.pdf.

OLIVEIRA DM, RIBEIRO JGM, FARIA LF, REBOITA MS (2023). Performance dos modelos climáticos do CMIP6 em simular a precipitação em subdomínios da América do Sul no período histórico. revista Brasileira de Geografia Física. Revista Brasileira de Geografia Física v.16, n.01. 116-133.https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/255100

PAGLIA AP, REZENDE DT, KOCH I, KORTZ AR, DONATTI C (2012). Modelos de Distribuição de Espécie em Estratégia de Conservação da Biodiversidade para Adaptação Baseada no Ecossistema Frente a mudanças climáticas (2012). Natureza & Conservação 10(2):231-234, December 2012 Copyright© 2012 ABECO Handling Editor: Paulo De Marco Jr.http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031

PRITCHARD, DJ, HARROP SR (2010). Ex situ conservation the value of plant collection. BGCI BGjournal. V7. n1.https://www.bgci.org/resources/bgci-tools-and-resources/bgjournal/

RANGEL TF, LOYOLA RD (2012). Modelos de nicho ecológico de rotulagem. Natureza & conservação 10(2) 119-126. Revista brasileira de conservação da natureza. Copyright© 2012 ABECO Handling Editor: Paulo De Marco Jr.http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.030

TABARELLI M, LEAL IR, SCARANO FR, SILVA JMC (2018). Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. Cienc.cult.v70.n 4.São Paulo.http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>

TAIZ L, ZEIGER E. Fisiologia vegetal. Artmed.ed.3.2006.(p.214-2017).

TAVARES VC, ARRUDA IRP, SILVA DG (2019) Desertificação, mudanças climáticas e seca no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. GEOSUL. v34, n70. p385-405, Florianópolis. DOI: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385

TAVARES VC, RAMOS LN(2016). A desertificação em São João do Cariri(PB): Uma análise das vulnerabilidades (Desertificação in São João do Cariri (PB) analyses of vulnerabilities. DOI: https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160095

SILVA AC, JUVANHOL RS, MIRANDA JR (2023). Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no Bioma Caatinga usando dados do sensor MODIS. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 33, n. 1, e 70195, p. 1-23, 2023. DOI 10.5902/1980509870195. https://doi.org/10.5902/1980509870195

VELLOSO AL, SAMPAIO EVSB, PAREYN FGC (2002). Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 21 ed. 2002. http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5391/Ecorregioes-Propostas-para-o-bioma-da-caatinga.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ZAPPI D et al (2011). Plano de ação nacional para a conservação das Cactaceae. organizadores: Suelma Ribeiro Silva. – Brasília. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Icmbio.Série Espécies Ameaçadas. https://www.researchgate.net/publication/305467448_Plano_de_Acao_Nacional_para_a_Conservacao_das_Cactaceas

ZAPPI D, TAYLOR NP (2023). Cactaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB1582

Autores e afiliações

Flávia Bomfim[1]; Thieres Santos-Almeida[1,2]; Luisa Maria Diele-Viegas[1]; Bianca Zaballa[1]; Mateus Almeida-Santos[1]; Fernanda Melo Gomes[1]

Flávia dos Santos Bomfim
flviab8@gmail.com

1 Laboratório de (Bio)diversidade no Antropoceno, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil

2 Programa de pós graduação em ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

4. DISCUSSÃO GERAL

No geral, espécies endêmicas da Caatinga são altamente vulneráveis, mesmo em cenários otimistas de mudanças climáticas. Essas espécies podem perder grande parte de suas áreas de adequabilidade climática, comprometendo assim, interações ecológicas essenciais como a polinização e a dispersão de sementes (Silva et al., 2019).

A *Melocactus pachyacanthus* é uma espécie endêmica do Bioma Caatinga que vem enfrentando sérios problemas em sua conservação, por conta da ação humana (Zappi, et al., 2011). Conforme já mencionado anteriormente, na Caatinga essa ação tem se revelado por meio das mudanças climáticas, uso e ocupação do solo para fins agrícolas e aumento dos focos de incêndio (Cavalcante et al., 2013; Tabarelli et al., 2018; Silva et al., 2023). Além disso, o aumento da temperatura e a redução da precipitação são fatores que devem agravar ainda mais a vulnerabilidade das espécies vegetais, especialmente as que possuem estratégias reprodutivas especializadas (Santos et al., 2014) como as cactáceas.

Nos mapas de adequabilidade bioclimáticas (Paglia et al., 2012), considerando os cenários presente e futuro, mapas de uso e ocupação do solo e mapas da incidência de fogo que foram gerados, foi observado que as mudanças climáticas, alteração da cobertura vegetal e fogo são possíveis redutores das potenciais áreas de ocorrência da espécie (Cavalcante et al., 2013; Tabarelli et al., 2018; Silva et al., 2023).

O impacto das mudanças climáticas na ocorrência da espécie foi evidenciado por meio dos resultados apresentados nos mapas de adequabilidade climática da espécie. Os mapas predisseram a redução da adequabilidade bioclimática para os cenários futuros mais e menos otimistas, em relação à emissão de GEEs. Ao analisar os impactos das mudanças climáticas na caatinga, Torres e colaboradores (2017) evidenciaram que as previsões apontam para uma redução significativa na adequabilidade de habitats para plantas específicas. Dessa forma, sugere-se que, para a criação de novas áreas protegidas, considere-se não apenas a ocorrência atual das espécies, mas também as projeções futuras de adequabilidade climática para garantir a efetividade das medidas de conservação (Torres et al., 2017). Sobretudo, essa redução da adequabilidade bioclimática na área conhecida da maioria das populações indica um risco de extinção, no caso de não haver possibilidades de adaptação a esses cenários

previstos (Pritchard & Harrot, 2010).

Apesar de já apresentar uma morfofisiologia mais adaptada a ambientes mais extremos em relação a temperatura e precipitação (Fernandes, 2018), ameaças muito intensas e frequentes, como já vem acontecendo, diminuem as chances de desenvolvimento dessa espécie (Cavalcante et al., 2013).

O mapa de adequabilidade bioclimática para os cenários futuros também previu a expansão da adequabilidade bioclimática para a ecorregião do CCD. Nesta ecorregião ocorrem processos de isolamento geográficos que conferem a ela uma característica edafoclimática mais específica e possivelmente influencia na formação do seu microclima (Velloso et al., 2002; Kearney et al., 2014).

A alteração e cobertura do solo provocada, principalmente, pela atividade agrícola é outra grande responsável pelo atual estado de conservação da espécie, categorizado como "em perigo" na natureza (Martinelli & Moraes, 2013). As áreas de desmatamento tem crescido bastante próximo aos locais de ocorrência da espécie gerando declínio de suas populações (Cavalcante et al., 2013).

O mapa de uso e ocupação do solo mostram como as áreas de desmatamento tem crescido entre os períodos avaliados. Esse desmatamento tem causado a fragmentação do habitat onde a espécie ocorre e perda de sua qualidade (Martinelli & Moraes, 2013).

Os focos de incêndio também têm aumentado (Silva et al., 2023) e chegado cada vez mais próximo dos locais de ocorrência da espécie (Boff, 2020; Jesus et al., 2020). No entanto, nos resultados do mapa de fogo, com o acumulado dos anos avaliados, ele não sobrepõe os pontos de ocorrência confirmados da espécie, bem como as áreas queimadas não apresentaram tamanhos significativos em termos de área espacial. Apesar de não terem sido identificados impactos diretos da ação do fogo sobre a ocorrência da espécie. Esse monitoramento é fundamental, para prevenir que os focos de incêndio que têm se expandido atinjam o nicho realizado e fundamental da espécie de forma a reduzir ainda mais a sua adequabilidade bioclimática (Jesus et al., 2020) .

Considerando o cenário apresentado, em que é constante as mudanças no padrão climático e na cobertura vegetal do solo, adotar alternativas que antecipem a elas, consiste em uma forma mais inteligente de tentar reverter esse status de ameaça e de garantir a sobrevivência da espécie (Ladle et al., 2018). Prever as potenciais áreas de ocorrência dessa espécie em diferentes cenários, possibilita um manejo adequado dessa espécie para as áreas que realmente reúnam as condições adequadas para isso, bem como, justificaria a proteção

ambiental dessas área e a criação de novas Unidades de Conservação (Pritchard & Harrot, 2010).

Dessa forma, estudos como este, ressaltam a importância de estratégias de conservação que integrem modelagem de nicho ecológico e considerem os impactos combinados das mudanças climáticas e do uso do solo. Tais abordagens são cruciais para a elaboração de planos de manejo que possam mitigar os efeitos adversos e proteger a biodiversidade da Caatinga. Com base nos resultados dos mapas é possível também, entender que é necessária, para a conservação da espécie, a criação de planos de recuperação para áreas degradadas na ecorregião da DSM, especificamente nos locais onde foi previsto maior potencial de adequabilidade bioclimática da espécie.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos mapas gerados foi possível mensurarmos os impactos das ações antrópicas relacionadas às mudanças climáticas e do uso e ocupação do solo na ocorrência da espécie *Melocactus pachyacanthus.* Os resultados desses mapas mostraram uma provável redução da adequabilidade bioclimática da espécie para os cenários futuros, bem como, o aumento de áreas antropizadas sobrepondo o nicho fundamental e realizado da espécie.

Esses resultados deixam evidente a urgente necessidade da intervenção do estado na criação de políticas públicas ambientais, voltadas a garantir a sobrevivência dessa espécie em seu ambiente natural. Além disso, ressalta-se a importância de mapear as potenciais áreas de ocorrência da espécie, para a criação de Unidades de Conservação que reúnam as condições ambientais mais adequadas à sua proteção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, F.B.C.; ALMEIDA, E.M.; ALVES, L.I.F.; SILVA, P.K.; NEVES, J.A.L.; FREITAS, J.G. Cactário Guimarães Duque. (2018). Espécie da coleção botânica INSA. Campina Grande, PB..

CAVALCANTE, A.; TELES, M. & MACHADO, M. . Cactos do semiárido Brasil. (2013). Guia ilustrado. Ed 1. Editora Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande,PB.

CORREIA, D; NASCIMENTO, E.H.S; FILHO, A.A.H.G; LIMA, M.L.B; ALMEIDA,J.V.F. Melocactus. (2018).Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza.

FERNANDES, M.F.; QUEIROZ, L.P Vegetação e flora da Caatinga.(2018). Cienc. Cult. vol.70 no.4 São Paulo. http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext & pid=S0009-67252018000400014

GIACOMETTI, K. DOMINSCHEK, D.L. (2019). Ações antrópicas e impactos ambientais: industrialização e globalização.. v7, n.10. Fluidez interdisciplinar: O encontro da filosofia e sociologia.

GIANNINI, T.C.; SARAIVA, A.M.; ALVES DOS SANTOS, I. i2010). Ecological niche modeling and geographical distribution of pollinator and plants: a case study of Peponapis fervens (Smith, 1879) (Eucerini: Apidae) and Cucurbita species (Cucurbitaceae). Ecological Informatics 5: 59-66.

JESUS, J.B.; ROSA, C.N.BARRETO, I.D.C, FERNANDES, M.M (2020). Análise da incidência temporal, espacial e de tendências de fogo nos biomas e Unidades de Conservação do Brasil. Artigos. Ciênc. Florest.30 (01). https://doi.org/10.5902/1980509837696

KEARNEY, M.R.; ISAAC AP.; PORTER WP. microclin: Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages (2014). https://www.nature.com/articles/sdata20146

LADLE, R.; JEPSON, P. Rumo a uma teoria biocultural de extinção evitada(2008). Conservation Letters , 1 , 111 – 118 .

LEAL, I.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J.M.C. Ecologia e Conservação da Caatinga.(2003).Ed.Universitária da UFPE:https://www.academia.edu/4095839/Livro_Ecologia_e_Conserva%C3%A7%C3%A3o_da_Caatinga

RANGEL, T.F.; LOYOLA, R.D. Modelos de nicho ecológico de rotulagem (2012). Natureza & conservação 10(2) 119-126. Revista brasileira de conservação da natureza. Copyright© 2012 ABECO Handling Editor: Paulo De Marco Jr.http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.030> Acesso em: 05 de março .2024.

MARTINELLI,G.; MORAES, M.A. Livro vermelho da Flora do Brasil, Rio de Janeiro, ed., 2013. https://www.researchgate.net/profile/Marcelo_Menezes2/publication/273000307_Cactaceae/links/54f48fca0cf2f28c1361e233.pdf>. Acesso em 21 de 2024.

MENEZES, M.O.T.; CAVALCANTE, A; MACHADO, M.C. Cactos do semiárido do Brasil: Guia ilustrado. Edição: 1 Editora: Instituto Nacional do Semiárido - INSA.Série: 978-85-64265-05-9. https://www.researchgate.net/publication/271519077_Cactos_do_semiarido_do_Brasil_Guia_ilustrado

PAGLIA, A.P.; REZENDE, D.T.; KOCH, I.; KORTZ, A.R.; DONATTI, C. (2012). Modelos de Distribuição de Espécie em Estratégia de Conservação da Biodiversidade para Adaptação Baseada no Ecossistema Frente a mudanças climáticas (2012). Natureza & Conservação 10(2):231-234, December 2012 Copyright© 2012 ABECO Handling Editor: Paulo De Marco Jr http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031

PRITCHARD, D.J.; HARROP, S.R. (2010). Ex situ conservation the value of plant collection. BGCI BGjournal. V7. n1

TABARELLI, M.; LEAL, I.R.; SCARANO, F.R.; SILVA, J.M.C. (2018). Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. Cienc.cult.v70.n 4.São Paulo.http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Artmed.ed.3.2006.(pág.214-2017).

TORRES, R.R., LAPOLA, D.M., GAMARRA, N.L.R. (2017). Future Climate Change in the Caatinga. In: Silva, J.M.C., Leal, I.R., Tabarelli, M. (eds) Caatinga. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_15

RANGEL.; T.F.; LOYOLA, R.D.Modelos de nicho ecológico de rotulagem (2012). Natureza & conservação 10(2) 119-126. Revista brasileira de conservação da natureza. Copyright© 2012 ABECO Handling Editor: Paulo De Marco Jr. http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.030

ROCHA, J.I.S.; MENEZES, G.S.C.; CAZETTA, E.; DODONOV, P.; TAROLA, D.C. Seed rain across fire-created edges in a neotropical rainforest Plant Ecol (2021) 223:247–261.https://doi.org/ 10.21203/rs.3.rs-777032/v1

SANTOS, M.G.; OLIVEIRA, M.T.; FIGUEIREDO, K.V. et al. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes?. Theor. Exp. Plant Physiol 26, 83–99 (2014). https://doi.org/10.1007/s40626-014-0008-0

SILVA, A.C.; JUVANHOL, R.S.; MIRANDA, J.R. (2023). Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no Bioma Caatinga usando dados do sensor MODIS. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 33, n. 1, e 70195, p. 1-23, 2023. DOI 10.5902/1980509870195.https://doi.org/10.5902/1980509870195

SILVA, J.L.S.E.; CRUZ-NETO, O.; PERES C.A, TABARELLI, M.; LOPES, A.V (2019) Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. PLoS ONE 14(5): e0217028. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217028

SILVA, L.F.; BATAZZA, A.; SOUZA, N.F.; SOUZA, N.F.D.; ROCHA, N.S. Impactos das Ações Antrópicas aos biomas brasileiros (2022). Meio Ambiente Brasil.v4, n1, p.21-44 //www.researchgate.net/publication/357993648_Impactos_das_acoes_antropicas_aos_Biomas_do_Brasil_artigo_de_revisao>

VELLOSO, A.L.; SAMPAIO, E.V.S.B. & PAREYN,F.G.C. (2002). Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 21 ed. 2002. http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5391/Ecorregioes-Propostas-para-o-bioma-da-caatinga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZAPPI, D et al. Plano de ação nacional para a conservação das Cactaceae (2011). organizadores: Suelma Ribeiro Silva. – Brasília. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Icmbio.Série Espécies Ameaçadas. https://www.researchgate.net/publication/305467448_Plano_de_Acao_Nacional_para_a_Conservacao_das_Cactaceas

ANEXOS

Fig 1. *Melocactus pachyacanthus* a. em fase de desenvolvimento b. com cefálio formado c. Flores presentes.

APÊNDICES
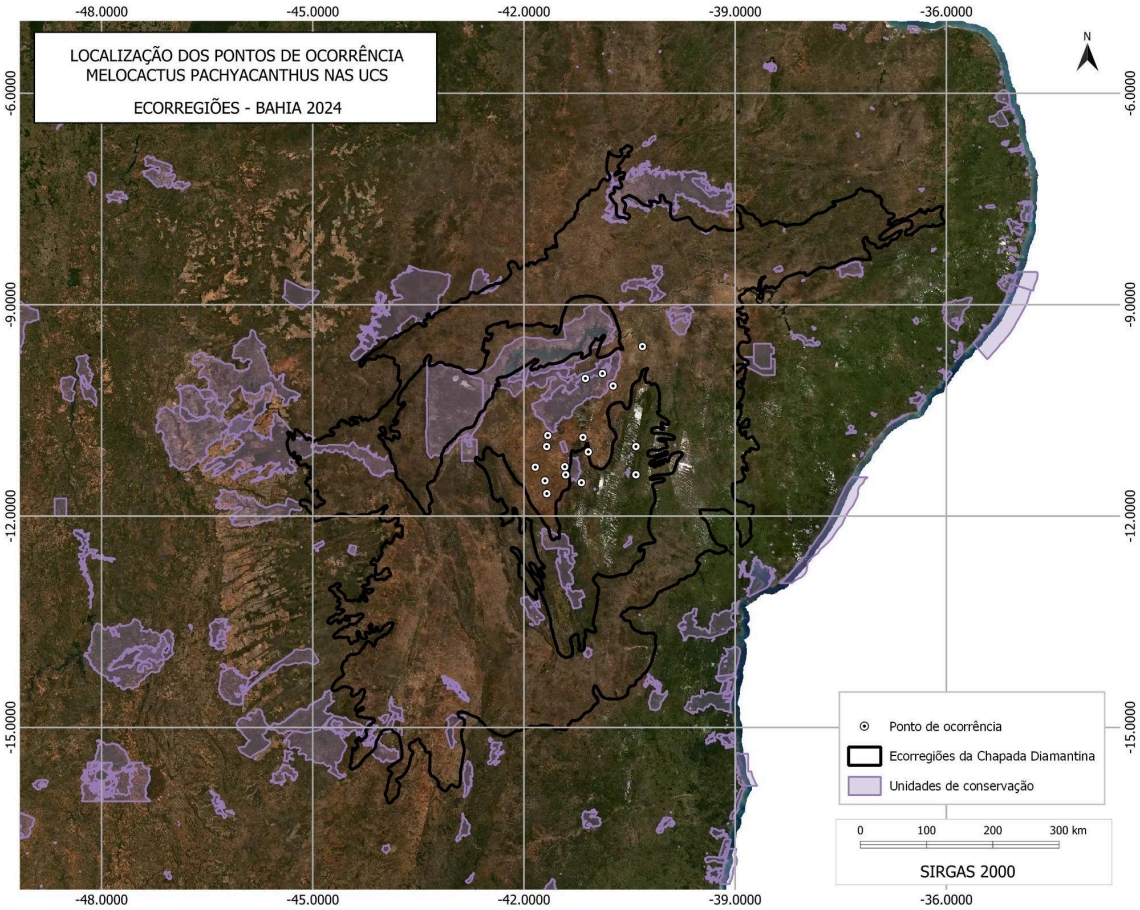
Fig 2. Localização dos pontos de ocorrência da espécie em unidades de conservação.