

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Alexandre Falanga Colombo

Conseqüências potenciais das mudanças
climáticas globais para espécies arbóreas
da Mata Atlântica

Tese apresentada ao Instituto
de Biologia da Universidade
Estadual de Campinas para a
obtenção do título de Mestre
em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alfredo Joly

Campinas, 2007

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE BIOLOGIA – UNICAMP**

C717c

Colombo, Alexandre Falanga
Conseqüências potenciais das mudanças climáticas
globais para espécies arbóreas de Mata Atlântica /
Alexandre Falanga Colombo. – Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Carlos Alfredo Joly.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de
Campinas, Instituto de Biologia.

1. Mata Atlântica. 2. Aquecimento global. 3. Nicho
(Ecologia). 4. Modelagem climática. I. Joly, Carlos
Alfredo. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto
de Biologia. III. Título.

(rcdt/ib)

Título em inglês: Potential consequences of global climate change to tree species of Atlantic Forest.

Palavras-chave em inglês: Atlantic Forest (Brazil); Global warming; Niche (Ecology); Climate modeling.

Área de concentração: Ecologia.

Titulação: Mestre em Ecologia.

Banca examinadora: Carlos Alfredo Joly, José Alexandre Felizola Djiniz Filho, Ingrid Koch.

Data da defesa: 12/11/2007.

Programa de Pós-Graduação: Ecologia.

Campinas, 12 de novembro de 2007

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Alfredo Joly (Orientador)



Prof. Dr. José Alexandre Felizola Diniz Filho



Prof. Dr. George John Sheperd



Prof. Dr. Sergius Gandolfi

Profa. Dra. Ingrid Koch

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS	15
ÁREA DE ESTUDO	15
COLETA DOS DADOS	15
VARIÁVEIS AMBIENTAIS	17
NICHO ECOLÓGICO E ALGORITMO GENÉTICO	19
RESULTADOS	24
PANORAMA DE MUDANÇAS DAS ESPÉCIES	29
ESPÉCIES SECUNDÁRIAS INICIAIS E TARDIAS	35
DISCUSSÃO	75
REFERENCIAS	82

Agradecimentos

Gostaria de agradecer as dezenas de pessoas que me ajudaram na idealização e finalização desse trabalho. Em especial ao Dr. Fernando Martins pela colaboração na identificação das espécies e por ter cedido a mim parte de seu trabalho e dedicação dos últimos 5 anos. Ao Dr. Ricardo Rodrigues pela colaboração na caracterização das espécies. A toda a equipe do CRIA, por ter, durante esses dois últimos anos, me fornecido estrutura computacional, me orientado e me suportado. Aos amigos: Rafael Fonseca, por ter me apoiado e decifrado parte dos inúmeros problemas computacionais; Paulo Guimarães (Miudo) por mostrar as belezas que a estatística e almoços longos pode trazer a uma tese; Glauco Machado por me ensinar, mais lições de vida do que de biologia, nas matas úmidas da Amazônia. E a todos os demais componentes do "lunch club" pelas inúmeras idéias de como não fazer ecologia. Agradeço também ao Dr. Carlos Joly pela duradoura amizade e orientação, assim como aos demais membros da pré-banca que deram valiosas contribuições para a redação final. Agradeço também a minha família, meu pai, minha mãe e meu irmão que sempre estiveram remando comigo nesse imenso rio revolto. E a minha esposa Tatiana por me mostrar caminhos, pedras, rosas e o verdadeiro significado da palavra "cumplicidade". Por fim dedico essas páginas a todas aquelas pessoas que acreditaram no meu trabalho e me ajudaram a completar e superar mais uma fase de minha vida. A todos vocês meu sincero: "Muito Obrigado!"

Resumo

Desde o início da colonização portuguesa, a Mata Atlântica, um dos dez biomas mais ricos e diversos do mundo, sofreu uma redução considerável em extensão e diversidade. O extrativismo, o avanço da agricultura extensiva e o rápido crescimento das cidades na faixa litorânea do país, foram e continuam sendo em algumas regiões, responsáveis pela redução da vegetação nativa. Dados recentes mostram que restam apenas 7% da cobertura florestal original, e menos do que 5% são efetivamente de florestas nativas pouco antropizadas. Esta situação pode estar sendo agravada devido às mudanças nos padrões climáticos terrestres. Exarcebados pela ação humana, o aquecimento global, a mudança do regime de chuvas, entre outras alterações atmosféricas, podem modificar substancialmente o padrão de distribuição das espécies arbóreas dos biomas nativos. Este processo pode resultar na diminuição da área de ocorrência ou mesmo na extinção de espécies.

Este trabalho tem como objetivo, através de técnicas de modelagem preditiva, delinear áreas de distribuição geográfica futura de 38 espécies arbóreas típicas da Mata Atlântica *lato sensu*, considerando dois cenários de aquecimento global nos próximos 50 anos. No cenário otimista, que prevê um aumento anual de 0,5% na concentração de CO₂ da atmosfera, o aumento médio da temperatura terrestre seria ≤ 2 °C; já no cenário pessimista, com um aumento médio de 1% na concentração de CO₂ atmosférico, o aumento médio da temperatura seria da ordem de 4 °C.

Considerando estes parâmetros, e usando GARP-*Genetic Algorithm for Rule-set Prediction*, foram gerados três modelos para cada espécie: um de distribuição presente e dois de cenários futuros, um otimista e outro pessimista em relação às emissões de CO₂ até 2050.

Os resultados obtidos mostram, de forma alarmante, uma redução na área de ocorrência potencial das espécies estudadas, além de um possível deslocamento destas para regiões mais ao sul do que as atualmente observadas. Em média, no cenário otimista, a redução na área de ocorrência potencial é de 25%, e no cenário pessimista de 50%. Espécies como *Euterpe edulis*, *Jacaranda puberula*, *Mollinedia schottiana*, *Virola bicuhyba*, *Inga sessilis*, *Ecclinusa ramiflora* e *Vochysia magnifica* são as que poderão sofrer mais os efeitos do aumento da temperatura global.

A geração de informação sobre as conseqüências das atividades humanas na terra vem aumentando, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões no

âmbito político, econômico e acadêmico. Apesar de, no estágio atual, as ferramentas de modelagem não terem a precisão desejada, a consistência dos padrões de deslocamento e redução na área potencial de ocorrência reforçam a importância delas serem incorporadas à formulação e aperfeiçoamento das políticas de conservação de nossos ecossistemas nativos.

Palavras-chave: Mata Atlântica, aquecimento global, nicho ecológico, GARP, modelagem climática.

Abstract

Title: Potential Consequences of Global Climate Change to tree species in the Atlantic Forest

One of the top ten most diverse rich forests in the world, the Brazilian Atlantic Forest has been suffering significant losses since the Portuguese arrived in Brazil in 1500. Wood, palm heart and epiphytes extraction, extensive agriculture and the expansion of large cities still are the main threats. Recent data shows that there are less than 7% of native forest left, and from those only 5% can be considered pristine. Aggravated by human activities global warming, changes in rainfall patterns, among other changes may affect substantially native trees geographical distribution. The result of this process may be a reduction in the area of occurrence of species and, ultimately, in the extinction of a large number of them.

In this study we used predictive modeling techniques to determine present and future geographical distribution of 38 species of tree that are typical of the Brazilian Atlantic Forest (*Mata Atlântica lato sensu*), considering two global warming scenarios. The optimistic scenario, based in a 0,5% increase in the concentration of CO₂ in the atmosphere, predicts an increase of up to 2 °C in Earth's average temperature; in the pessimistic scenarios, based in a 1% increase in the concentration of CO₂ in the atmosphere, temperature increase may reach 4 °C.

Using these parameters and the *Genetic Algorithm for Ruse-set Predictions/GARP* three models were produced: one with the present distribution of the species based in occurrence points registered in literature, the other two were based in changes of Earth's mean temperature by 2050 using the optimistic and the pessimistic scenarios of CO₂ emission.

The results obtained show an alarming reduction in the area of possible occurrence of the species studied, as well as a shift towards the most southern part of Brazil. In average, using the optimistic scenario this reduction is of 25% while in the pessimistic scenario it reaches 50%. Among the species studied *Euterpe edulis*, *Jacaranda puberula*, *Mollinedia schottiana*, *Virola bicuhyba*, *Inga sessilis*, *Ecclinusa ramiflora* e *Vochysia magnifica* are the ones that will suffer the worst reduction in their possible area of occurrence.

Nowadays scientific certainty about climate changes as a consequence of human activities is so strong, that it must be taken in account by all spheres of action:

political, economic and academic. Although predictive models are not yet as precise as we would like and need, the consistency of patterns of shifts and reductions in areas of potential occurrence of tropical plant species strengthen the importance of incorporating them in planning and implementing native biodiversity policies.

Keywords: Atlantic Rain Forest, global warming, ecological niche, GARP, climate modeling.

Introdução

A Mata Atlântica é a formação vegetal brasileira mais difusa em sua definição. Existem diversas opiniões sobre a abrangência total da fitofisionomia denominada "Floresta Atlântica" (JOLY et al. 1991). Segundo o Mapa de Vegetação do Brasil produzido pelo IBGE em 1988, a Mata Atlântica, *lato sensu* foi conceituada como uma área que abrange três conjuntos: As florestas ombrófilas densas, as florestas estacionais semidecíduas e decíduas, do interior das regiões Sul e Sudeste, e as florestas ombrófilas mistas da região Sul do Brasil. Já no sentido *strictu sensu* apenas as formações ombrófilas densas são consideradas Mata Atlântica. A formação denominada Floresta Ombrófila Densa ocorre sob um clima ombrófilo sem períodos biologicamente secos durante o ano e, excepcionalmente, com até 2 meses de umidade escassa. Assim mesmo, quando isso acontece, há uma grande umidade concentrada nos ambientes dissecado das serras. As temperaturas médias oscilam entre 22°C e 25°C. Esta região fitoecológica ocupa parte do espaço amazônico e estende-se pela costa atlântica desde o sul do estado brasileiro de Natal, passando pelo Rio Grande do Norte, até o Rio Grande do Sul (IBGE 1988).

Nos últimos 500 anos de ocupação da costa brasileira, de um total de 1.300.000 km² apenas 7,6% se encontra preservado (CAPOBIANCO et al. 2004). Os poucos fragmentos restantes dessa devastação apresentam diversos tamanhos, formas, estágios de sucessão e situação de conservação. Cerca de metade dos remanescentes florestais de grande extensão estão protegidos na forma de Unidades de Conservação. A maioria desses fragmentos se encontra hoje nas regiões serranas, principalmente a fachada da Serra do Mar, por serem impróprias para práticas agrícolas (CÂMARA 1991).

Muito além de estudar estes remanescentes, devemos entender quais as regiões em que determinadas espécies podem potencialmente se estabelecer. Espécies podem se deslocar de seus habitats, mudar suas rotas migratórias, reduzir ou aumentarem suas áreas de ocorrência, colonizarem outras áreas ou até se extinguirem devido a diversos fatores bióticos e abióticos. Entre os fatores bióticos temos como influencias nessas mudanças as interações intra e interespecíficas, como relações de simbiose, polinização, dispersão, predação entre outras. Já os fatores abióticos que podem influenciar possíveis mudanças temos, padrões históricos de colonização, barreiras geográficas, alteração de correntes marítimas, mudança nos padrões de

ventos e alterações climáticas em geral. Nesse estudo tomaremos como base uma dessas possíveis causas para a mudança nos padrões de distribuição de espécies vegetais, os aspectos climáticos e topográficos. Sabe-se que os organismos vivos possuem padrões de distribuição associados a diversos fatores ambientais (TOWNSEND 2006). Entre eles temos a topografia, a temperatura e a precipitação. Sendo assim, com base nas interações dessas três características podemos projetar, ainda que com inúmeras restrições, as possíveis conseqüências na distribuição dessas espécies frente às ações antrópicas indiretas, como por exemplo o aquecimento global.

Uma ferramenta desenvolvida para prever a distribuição potencial de espécies, baseado em fatores abióticos é o Genetic Algorithm for Rule-set Prediction (Desktop GARP) (STOCKWELL & NOBLE 1992; STOCKWELL 1999; STOCKWELL & PETERS 1999). Na formulação dos modelos de distribuição, o Desktop GARP utiliza pontos de ocorrência das espécies estudadas, relacionando-os com as características abióticas como aspectos climáticos e topográficos do local de ocorrência. Modelos gerados a partir do algoritmo são descritos em várias publicações demonstrando alta confiabilidade (PETERSON et al. 1999; PETERSON 2001; PETERSON & VIEGLAIS 2001; PETERSON et al. 2002). As regras de distribuição geradas pelo GARP podem ser projetadas para diferentes períodos de tempo e para cenários climáticos alterados (MARTINEZ-MEYER et al. 2004; SIQUEIRA & PETERSON 2003).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) realizou diversos estudos sobre as mudanças climáticas. E demonstrou a grande influência do homem sobre o meio ambiente. Uma das principais mudanças feitas pelo homem foi o grande aumento da emissão de CO₂ nas últimas décadas. Conforme pode ser observado na Figura 1, as concentrações de CO₂ aumentaram de cerca de 280 ppm nos períodos pré-industriais para 358 ppm em 1994 (IPCC 1994, IPCC 1995 a, b) e para 380 ppm em 2006 (IPCC 2007).

O IPCC, baseado nos estudos de mudanças climáticas, reuniu dados sobre a emissão de CO₂ e de outros gases causadores do efeito estufa, e através de modelos matemáticos, projetou os possíveis cenários futuros (especialmente para os próximos 50 anos (IPCC 1994, IPCC 1995 a, b)). Essas informações foram divulgadas em uma série de mapas digitais, essenciais para o processo da modelagem computacional.

Os relatórios publicados este ano confirmaram as tendências previamente apontadas, aumentando o grau de confiabilidade na previsão desses cenários (IPCC 2007). Infelizmente, a grande lacuna de informação climática dos países sul-americanos dificultou a melhora significativa das informações contidas nesses mapas digitais para

essas regiões, impossibilitando assim, um grande salto de qualidade em nossos estudos.

Como consequência do aumento da emissão do gás carbônico (CO₂), a temperatura global vem sofrendo alterações. As atividades humanas estão mudando as concentrações e distribuição atmosférica dos gases de efeito estufa. Essas mudanças podem produzir um forçamento radiativo alterando a reflexão e/ou a absorção da radiação solar, ou ainda a emissão e a absorção da radiação terrestre. A figura 4 mostra as diferenças no padrão de aquecimento global, comparando causas naturais e causas antropogênicas (IPCC 2007).

Não há dúvida de que esse aumento se deve em grande parte às atividades humanas, em particular à queima de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. O aumento provocou um forçamento radiativo de cerca de +1,6 Wm⁻² (Figura 2) Antes desse aumento recente, as concentrações de CO₂ nos últimos 1000 anos, um período em que o clima global foi relativamente estável, flutuaram em torno de ±10 ppm, estando por volta de 280 ppm em 1850 (Figura 1) (IPCC 2007).

Segundo o cenário mais otimista para os próximos 50 anos, estima-se um aumento de 0,5%/ano na concentração de CO₂ na atmosfera e de cerca de 2 °C na temperatura média do planeta. No segundo cenário, mais pessimista, estima-se um aumento de 1%/ano na concentração de CO₂ na atmosfera e de cerca de 4° na temperatura média (Figura 3).

Logo, devido ao aumento na temperatura global, espécies podem se deslocar e/ou sofrerem uma redução em suas áreas de ocorrência. Sendo assim, o objetivo deste estudo é verificar se um grupo de espécies arbóreas de Mata Atlântica pode estabelecer novas rotas de deslocamento direcional e/ou redução ou aumentar suas áreas potenciais de ocorrência, baseado nas mudanças climáticas de temperatura e precipitação, levando em conta o aumento da concentração dos gases do efeito estufa.

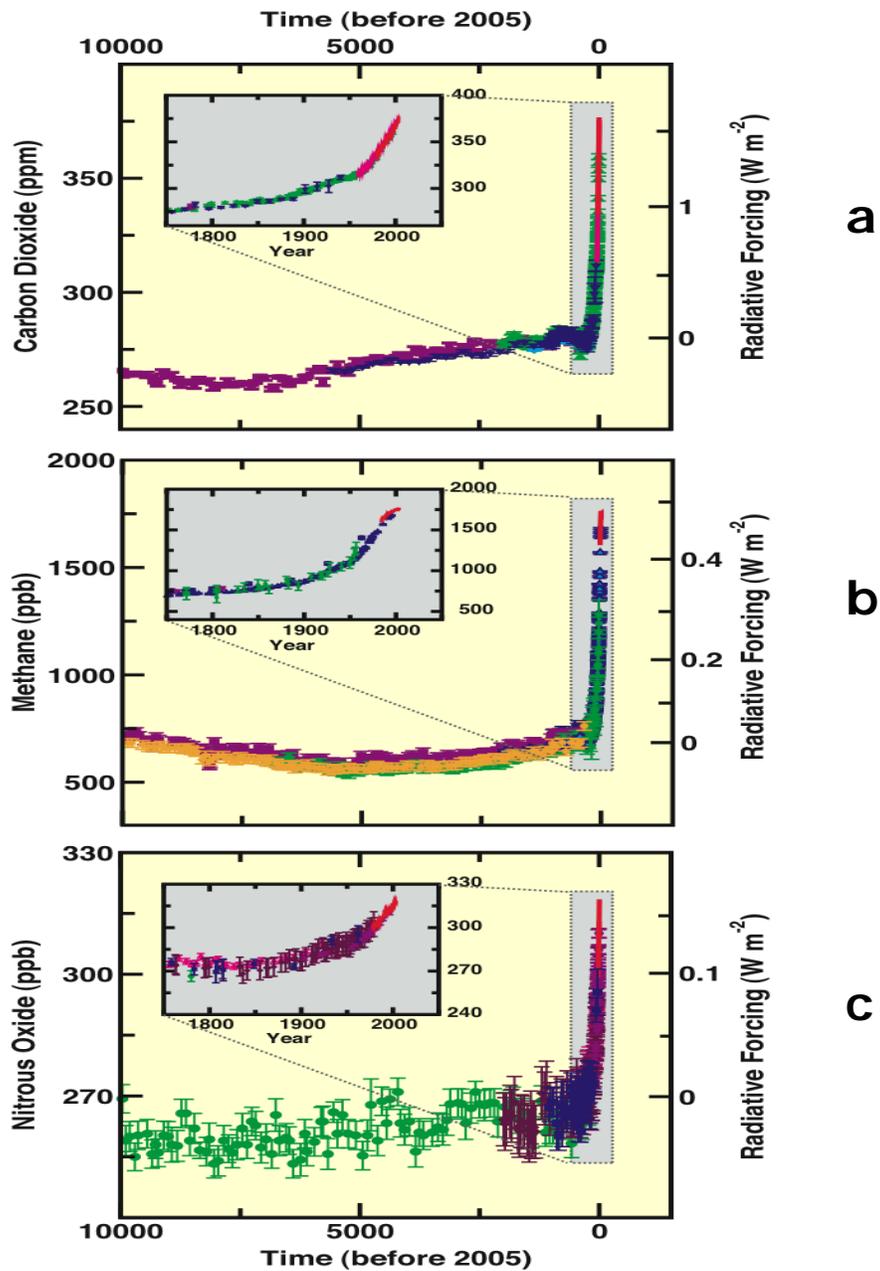


Figura 1. Registro da concentração de CO_2 (a), Metano (b) e Oxido Nitroso (c) na atmosfera terrestre nos últimos 10.000 anos. Destaque é dado para a aceleração do aumento das concentrações a partir da revolução industrial (IPCC 2007).

Radiative Forcing Components

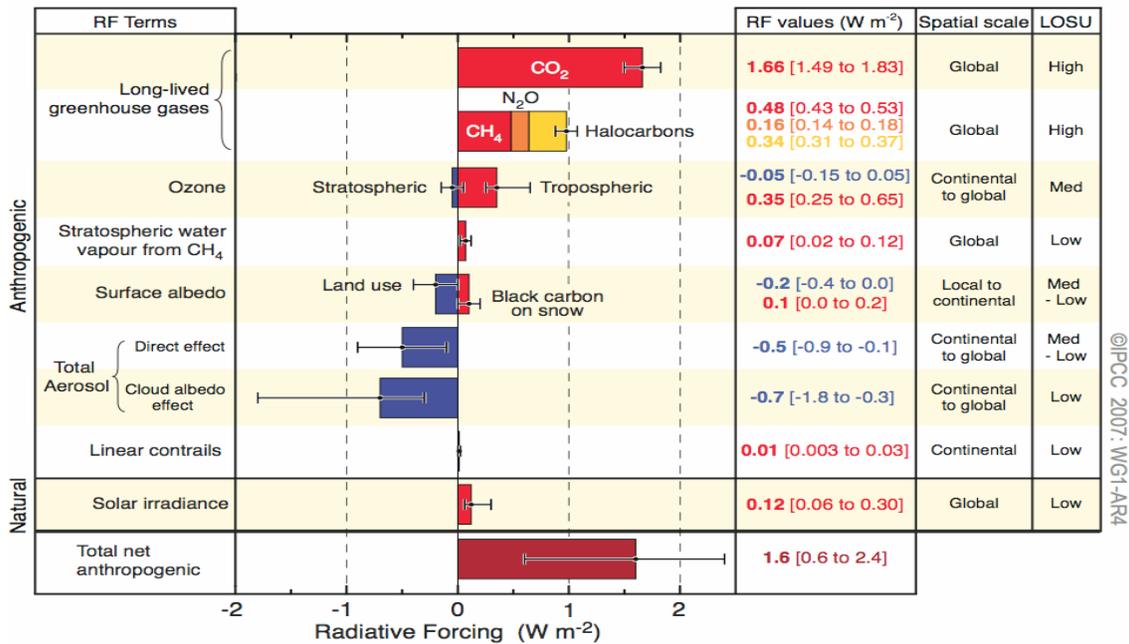


Figura 2. Componentes das forças radiativas que resultam no aquecimento da superfície terrestre (IPCC 2007).

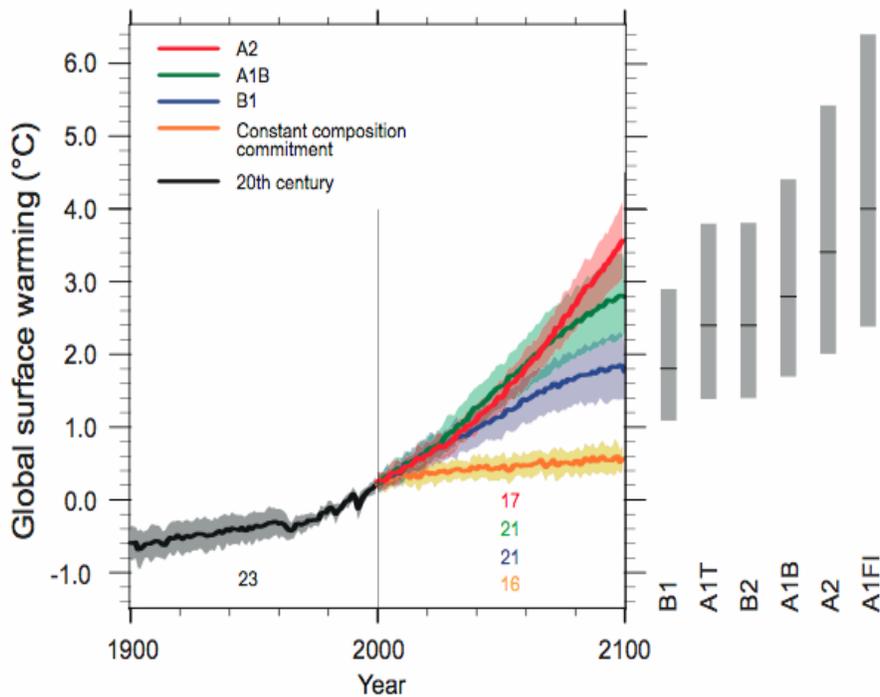


Figura 3. Cenários de aumento da temperatura média da superfície terrestre. O cenário otimista B1 prevê um aumento da ordem de 2 °C enquanto que o cenário pessimista A1FI prevê um aumento da ordem de 4 °C (IPCC 2007).

Global and Continental Temperature Change

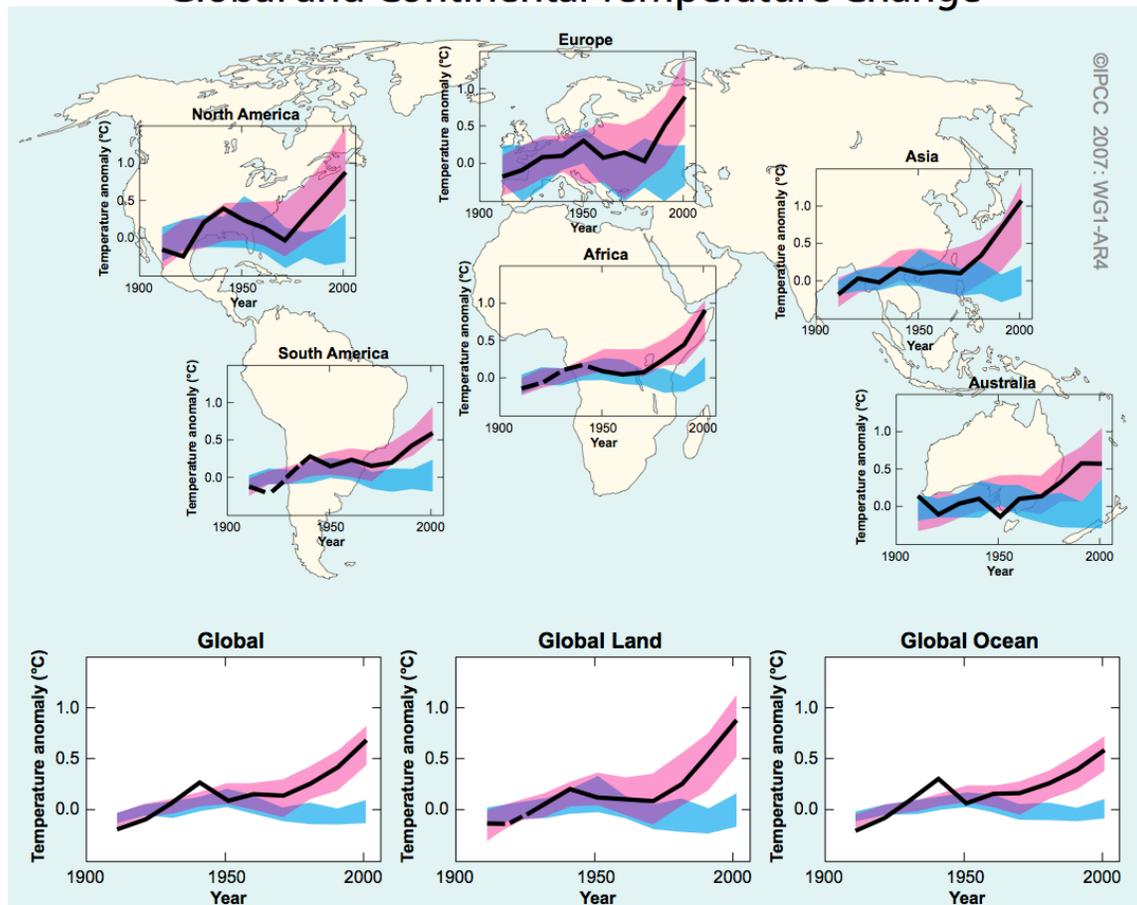


Figura 4. Em azul temos, o padrão da temperatura esperada considerando apenas causas naturais, em rosa o aumento de temperatura considerando as atividades antropogênicas. A linha preta mostra as temperaturas efetivamente medidas (Fonte IPCC 2007)

Material e Métodos

Área de estudo

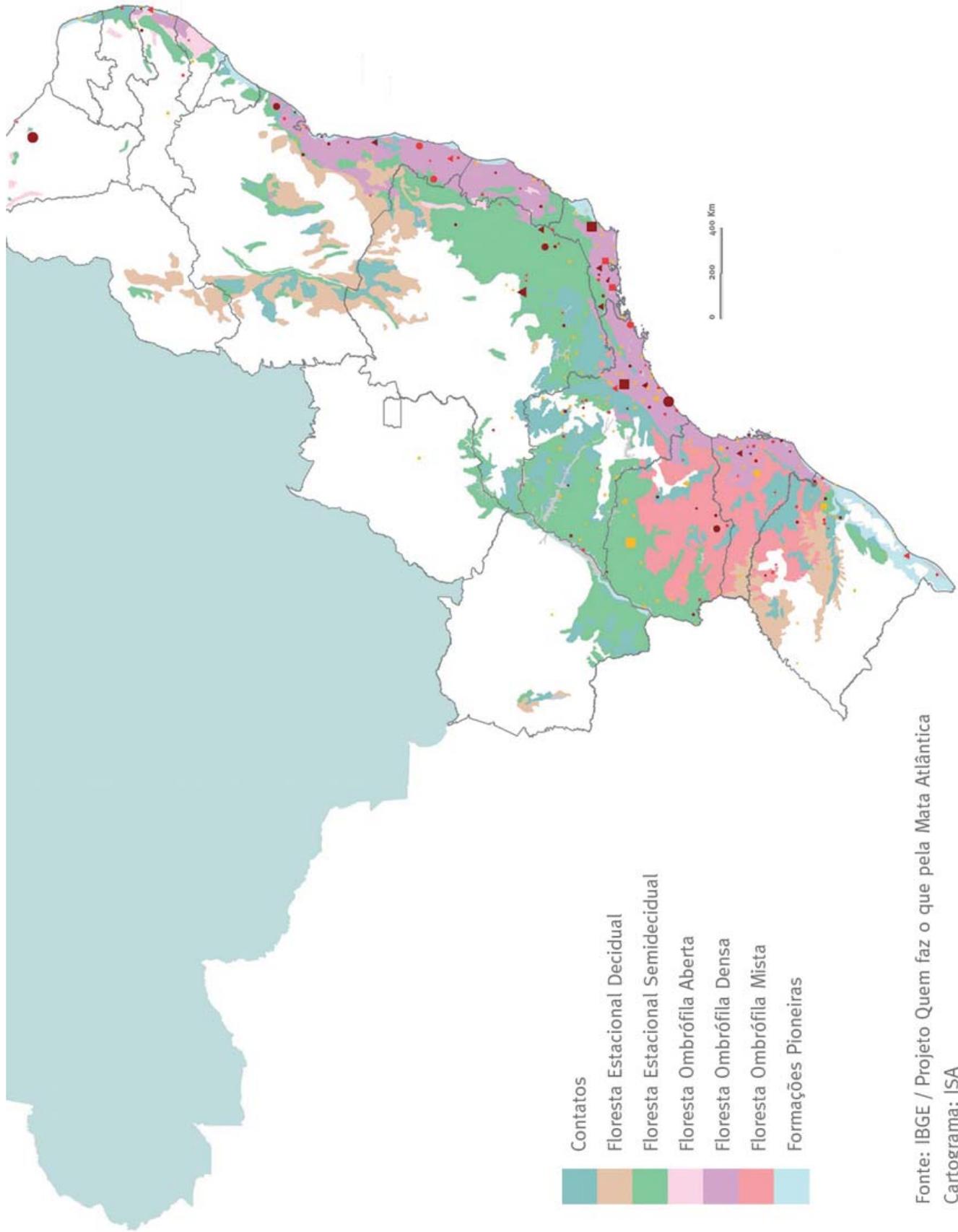
Utilizamos como área de análise o Bioma Mata Atlântica, composto pelas seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (Figura 5). Esta abrangência esta delimitada pelo mapa da vegetação brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE (1988) e foi recentemente, consolidada legalmente pela Lei 11.428 de dezembro de 2006.

Genericamente, neste bioma, prevalecem os solos de baixa fertilidade, ora álicos ora distróficos (IBGE 1988). Nas formações litorâneas o clima é ombrófilo, sem período biologicamente seco durante o ano e, excepcionalmente, com até dois meses de umidade escassa. Já no interior o clima é estacional, com uma estação seca que dura de 2 a 5 meses. As temperaturas médias oscilam entre 22°C e 25°C.

Coleta dos dados

Oliveira (2001), em sua tese de doutorado, comparou, para estado de São Paulo, um conjunto de 107 listas, identificando assim um conjunto de 38 espécies indicadoras do bioma Mata Atlântica, representativas do estado. Essas espécies foram relativizadas de acordo com sua abundância e o tamanho amostral de cada parcela. Essas 38 espécies foram tomadas como sendo um espaço amostral significativo do Bioma Mata Atlântica para o estado de São Paulo.

Buckland e colaboradores (2000) afirmam que, a fim de minimizar os efeitos das variações ambientais e das interações com outras espécies em uma amostra (inter e intra-específicas), deve-se trabalhar com uma gama estratificada de locais de ocorrências das espécies. Desta maneira grande parte dos fatores abióticos e bióticos



Fonte: IBGE / Projeto Quem faz o que pela Mata Atlântica
 Cartograma: ISA

Figura 5. Fitofisionomias da Mata Atlântica lato sensu. (CAPOBIANCO 2004)

que governam a distribuição dessas espécies seriam contemplados na amostragem minimizando eventuais lacunas dos fatores bióticos e abióticos que dificilmente poderiam ser mensurados. Pensando em atender esse ponto, utilizamos o banco de dados FITOGEO (SCUDELLER & MARTINS 2003) e para algumas espécies utilizamos o sistema *speciesLink* (2006) a fim de complementar a quantidade mínima de 30 pontos para cada espécie, totalizando 2.837 localidades de ocorrência das 38 espécies, amostrando o território brasileiro como um todo. Cada registro foi composto pelo binômio de cada espécie e as coordenadas de localização geográfica (latitude e longitude) (Diagrama 1). Esses dados foram triados, as coordenadas geográficas transformadas para graus decimais e ajustados para o DATUM WGS84, padronizando assim a totalidades dos dados. Os dados duplicados, com erro de coordenadas e/ou com possíveis erros de identificação das espécies foram excluídos.

Variáveis ambientais

Para as 38 espécies selecionadas, três projeções foram elaboradas: ocorrência presente e ocorrência futuro (2050) em dois cenários, um otimista e outro pessimista. Para a criação dos modelos de distribuição presente, dois conjuntos de dados distintos foram utilizados: aspectos topográficos, provenientes do instituto U.S. Geological Survey (<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro/>) e aspectos climáticos (média da amplitude diurna de temperatura, média anual de precipitação, máxima, mínima e média anual de temperatura) compreendidas entre o período de 1960-1990 provenientes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC - <http://www.ipcc.ch/>). Já para a projeção dos cenários futuros para os próximos 50 anos foram utilizados os mesmos dados para os aspectos topográficos, levando em conta a pouca probabilidade de mudança na topografia durante os próximos 50 anos. Entretanto dois novos conjuntos de dados para os mesmos aspectos climáticos do presente foram analisados: um otimista (Hadley HHGSDX50) e um pessimista (Hadley HHGGAX50) em relação à amplitude das mudanças climáticas, semelhantes aos cenários B1 e A1FI do último relatório do IPCC (2007) (<http://cera-www.dkrz.de/IPCC/DDC/IS92a/Hadley-Centre/hadcm2.html>). Os dois conjuntos de dados climáticos futuros foram elaborados pelo Centro Britânico Hadley de Predições e Pesquisas Climáticas (HadCM2) utilizando o Modelo Unificado proposto por Cullen (1993). Esses modelos são resultados de: (1) um longo experimento com simulações controladas (de multi-séculos), (2) uma série de quatro experimentos levando em conta pressões antrópicas maiores e menores, forçando cenários com maiores e menores efeitos de aerossóis de sulfato (IPCC 1994) e (3) a emissão de CO₂ ([17](http://cera-</p></div><div data-bbox=)

www.dkrz.de/IPCC_DDC/IS92a/Hadley-Centre/Readme.hadcm2). Apesar do surgimento de novos modelos, o Hadley HHGSDX50 e o Hadley HHGGAX50 ainda são os mais amplamente utilizados e considerados melhores para simular respostas do sistema global do clima, frente as crescentes concentrações dos gases que causam o efeito estufa (Pope et al. 2002).

Para o conjunto de dados para o cenário otimista (Hadley HHGSDX50) o IPCC utiliza um anual aumento estimado de 0.5% na taxa de concentração de CO₂ na atmosfera, e incorpora as forças do aerossol de sulfato, o que torna essa expectativa relativamente conservadora, tendo como resultado geral um aumento na temperatura global de 1°C a 2.5°C. Já para o cenário pessimista (Hadley HHGGAX50) estima-se um incremento anual de 1% na taxa de CO₂, não incorporando os efeitos de aerossóis do sulfato, tornando-o menos conservador (IPCC 1994, IPCC 1995 a, b), portanto com um aumento maior na temperatura média do planeta, cerca de 3°C a 4°C.

Os mapas topográficos e os climáticos possuíam resoluções diferentes tanto para o presente quanto para o futuro: os dados topográficos e climáticos para o presente (1960-1990) são detalhados, com resolução de 1 km x 1 km. Já os dados climáticos para os cenários futuros possuem resolução de 50 km x 50 km, tendo assim uma baixa precisão, pois generalizam os dados climáticos. Essa diferença de escala gera perda de qualidade e uma baixa definição na distribuição potencial das espécies.

Visando minimizar essa dificuldade todos os mapas foram reamostrados para a resolução de 5 km x 5 km (CHAPMAN et al. 2005) e recortados para o território brasileiro, tornando o processo de criação dos modelos mais eficiente, rápido e minimizando a perda de dados dos modelos mais detalhados (1 km x 1 km).

Para a criação dos modelos foram utilizados como área total do modelo o quadrado compreendido pelas coordenadas geográficas: longitude oeste (llx) - 74,010559; latitude sul (lly) -33,743896; longitude leste (urx) -29,842426; Latitude norte (ury) 5,273889 que formam um quadrado. Essas coordenadas representam uma área de 11.386.275,00 km² a qual abrange parte dos seguintes países latinos americanos: Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina, Uruguai e a totalidade do território brasileiro (Diagrama 1).

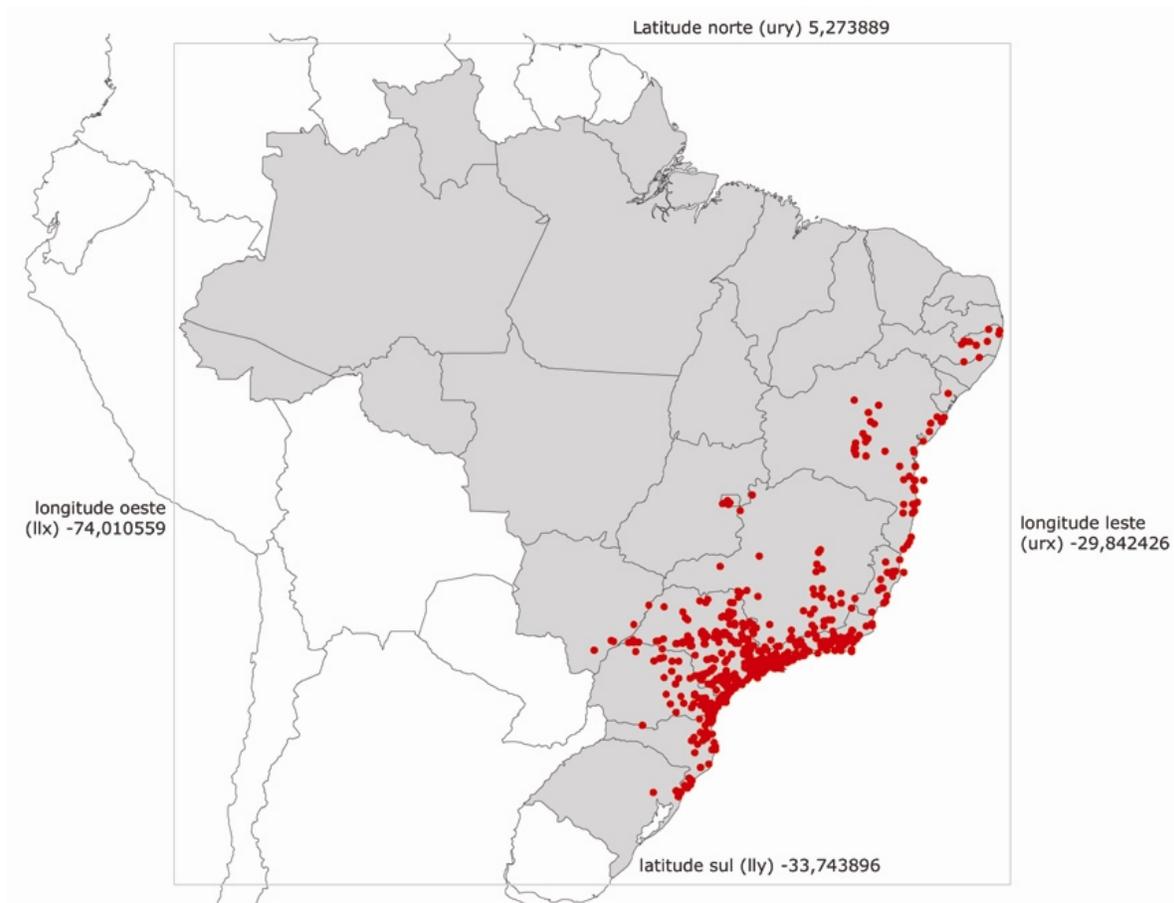


Diagrama 1. Pontos de ocorrência das 38 espécies estudadas e latitudes e longitudes limites do estudo.

Nicho ecológico e algoritmo genético

O nicho ecológico de uma espécie é definido por um conjunto de condições ecológicas nas quais uma população consegue se manter sem imigração (GRINNELL 1917). É, portanto, um espaço n-dimensional, formado por “n” variáveis, que representam as condições de existência de uma espécie (HUTCHINSON 1957). Restringindo o conceito de nicho ecológico, temos o nicho fundamental, que consiste no conjunto abiótico de condições sob as quais os organismos podem se manter, como temperatura, umidade, precipitação, altitude, radiação solar entre outras, suprimindo as interações ecológicas interespecífica e intra-específica (Figura 6A)

A partir da localização geográfica de uma espécie (Figura 6B) os dados ambientais e os geográficos são cruzados através de um algoritmo escolhido

previamente. Tais algoritmos estabelecem regras não aleatórias baseadas em características ambientais/ecológicas e estabelece regras de provável ocorrência dessa espécie (Figura 6C). Com esse conjunto de regras podemos projetar para diversas localidades (Figura 6D) ou até mesmo para outros cenários climáticos, no caso estudado, para o cenário previsto pelo IPCC para o ano de 2050 (Figura 6E).

Dentre os diversos algoritmos utilizados para a predição da área potencial de ocorrência de uma espécie, um dos mais robustos a serem utilizados para a projeção de cenários climáticos alterados é o Algoritmo Genético GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production* – Algoritmo Genético para Produção de Conjunto de Regras) (STOCKWELL & PETERS 1999). Elith e colaboradores (2006) analisaram e comparam 16 métodos de modelagem de distribuição de espécies e o algoritmo GARP obteve uma performance mediana ao projetar espécies para o cenário atual. Baseado em dados de presença e de psuedo-ausências, o GARP ainda é um dos métodos de modelagem que melhor trabalha com uma quantidade pequena de pontos (quando comparados com a quantidade de pontos utilizados, por exemplo em estudos com espécies europeias), tem uma facilidade computacional relativamente boa e vem sendo utilizado com freqüência na geração de modelos preditivos para cenários futuros e passados de climas alterados. Sua utilização é descrita em diversas publicações demonstrando alta confiabilidade do mesmo. (PETERSON et al. 1999; PETERSON 2001; PETERSON & VIEGLAIS 2001; PETERSON et al. 2002; MARTINEZ-MEYER et al. 2004; SIQUEIRA & PETERSON 2003). O algoritmo genético utiliza uma classe particular de algoritmo evolutivo que se utiliza técnicas inspiradas na biologia evolutiva, como mutação, seleção natural, recombinação e hereditariedade. Assim a criação das regras geradas por esses mecanismos a cada geração se adapta, criando um novo conjunto de regras que são incorporados nos próximos processos de criação sendo re combinados ou mutados formando um conjunto novo de regras.

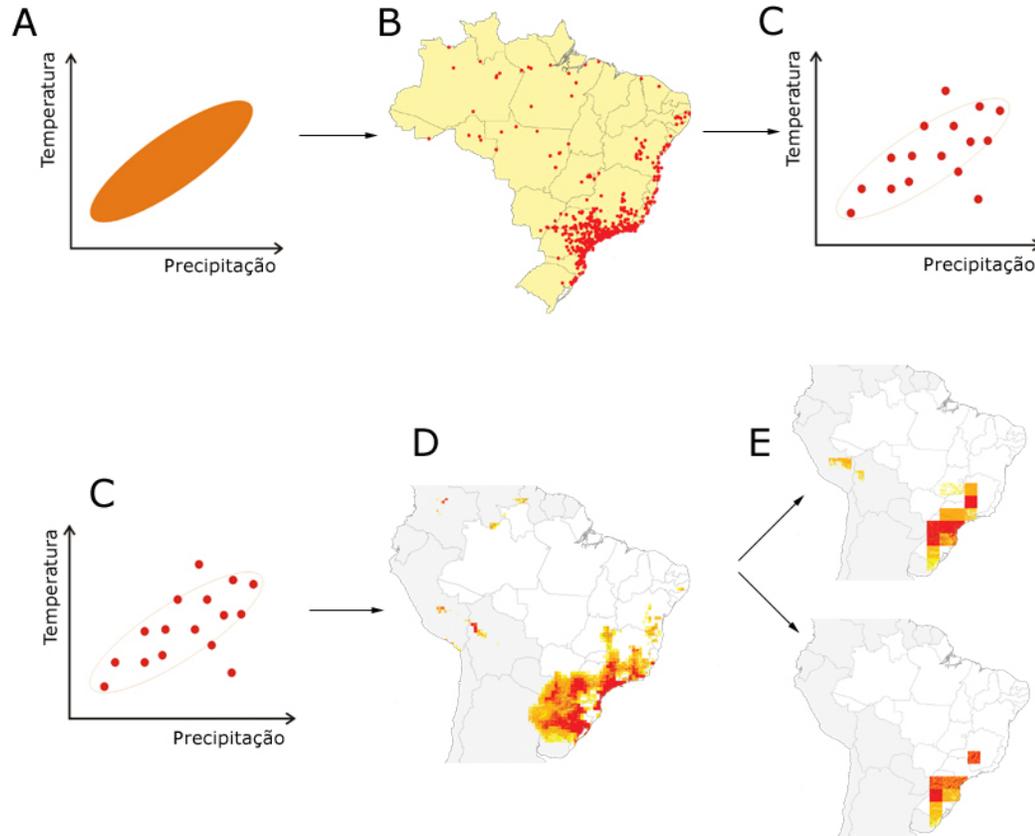


Figura 6. Esquema básico de modelagem baseada em dados abióticos.

O algoritmo genético GARP utiliza-se de informações ambientais e das coordenadas geográficas da ocorrência conhecida dos organismos para criar regras e modelos das potenciais áreas de distribuição dos organismos em questão.

Para gerar as regras finais para a criação dos modelos das potenciais áreas de ocorrências desses organismos, o GARP utiliza a combinação e a interação de quatro tipos de regras: (1) *atômicas* que consistem em regras pontuais de ocorrência; (2) de *faixa*, que estipula uma faixa de um atributo para a ocorrência de uma espécie; (3) *faixa negada*, que ao contrário da regra de faixa, estipula uma faixa na qual a espécie não ocorre; e por fim (4) a *regressão logística*. O Hibridismo das quatro regras citadas acima é uma das características positivas do algoritmo genético utilizado pelo GARP e o que o diferencia dos demais algoritmos conhecidos

Como exemplo das quatro regras utilizadas pelo GRAP temos:

- (1) Se a Temperatura é de 20°C e a Elevação de 1.000m o táxon **está** presente.

- (2) Se a Média anual de Precipitação está entre 2.000mm e 2.500mm e a Elevação está entre 800m e 1.500m o táxon **está** presente.
- (3) Se a Média anual de Precipitação esta entre 1.500mm e 2.000mm e a Elevação está entre 900m e 1.000m o táxon **não está** presente.
- (4) Se $p=1/[1 + e^{-\gamma}] >0.75$,
onde $\gamma=0.2 + \text{Temp} \times 0.45 + \text{Elevação} \times -0.12$
então o táxon está presente.

Utilizando o software DesktopGarp 1.1.4, disponível gratuitamente pelo endereço (<http://www.lifemapper.org/desktopgarp/>), foram criados 114 modelos de distribuição, três para cada espécie, sendo 38 modelos das distribuições atuais de cada espécie e 76 projeções para os cenários futuros: 38 projeções utilizando o cenário pessimistas e 38 o otimista. Para cada espécie o mínimo de 30 pontos foi considerado, sendo que 1/3 desses pontos foram previamente separados aleatoriamente para a validação externa dos modelos e 2/3 foram utilizados efetivamente na criação dos mesmos.

Para a criação de cada modelo foi utilizado um total de 100 replicações (*runs*) ou uma quantidade inferior necessária para a convergência do modelo com um coeficiente limite de conversão de 0.01 e um máximo de interações de 1000 por espécie; utilizando as quatro regras: atômica, de faixa, faixa negada e regressão logística. O GARP trabalha apenas com pontos de ocorrência, sendo assim o programa seleciona internamente pontos de pseudo-ausência na criação de seus modelos e também utiliza apenas uma porcentagem dos pontos totais para a criação efetiva dos modelos, utilizando o restante para os testes intrínsecos ao programa. Neste trabalho foi utilizada a ferramenta *Best subset*, que seleciona os 10 melhores modelos em relação à quantidade máxima de pontos do teste intrínsecos contidas nos modelos resultantes. Foram selecionados 50% dos pontos aleatoriamente para a validação interna intrínsecas, com o mínimo de 20 pontos para a criação dos modelos, assim como uma taxa de omissão de 10% e uma taxa de 50% de comissão. Após a criação e a identificação dos 10 melhores modelos para cada espécie e para cada cenário (presente, futuro otimista e futuro pessimista), esses foram somados através do programa ArcView 8®, resultando em um único modelo de distribuição para cada espécie e cenário. Em cada modelo calculamos o tamanho da área de distribuição a partir da quantidade de células de cada modelo (transformando-os posteriormente em

área - km²) a fim de compará-la com os demais modelos de cada uma das 38 espécies.

As análises estatísticas foram realizadas através do programa BIOSTAT 2, no qual com o conjunto de dados extrínsecos (1/3 dos pontos que não foram utilizados na criação dos modelos) e com a área de provável ocorrência presente das espécies realizamos um teste binomial de duas proporções. Verificando assim, se a distribuição presente obtida é diferente de uma distribuição com pontos aleatórios. Com os mapas para o cenário atual validados, a fim de tentar estabelecer áreas comuns de potencial ocorrência de todas as 38 espécies todos os 38 modelos para cada cenário foram somados. Finalizando as análises, para cada conjunto de modelos, para os 3 cenários, foram selecionados os conjuntos das áreas nas quais há uma probabilidade de ocorrência potencial de 80% ou mais de todas as espécies, caracterizando-as como as prováveis áreas prioritárias para a conservação.

Resultados

As 38 espécies foram divididas em espécies pioneiras/secundárias e espécies secundárias tardias (Tabela 1).

Espécie	Autor	Familia
Secundária Inicial		
<i>Guatteria australis</i>	A.St.-Hil.	Annonaceae
<i>Schefflera angustissima</i>	(Marchal) Frodin	Araliaceae
<i>Schefflera calva</i> (<i>Didymopanax calvum</i>)	(Cham.) Frodin & Fiaschi	Araliaceae
<i>Euterpe edulis</i>	Mart.	Arecaceae
<i>Jacaranda puberula</i>	Cham.	Bignoniaceae
<i>Clethra scabra</i>	Pers.	Clethraceae
<i>Alchornea triplinervia</i>	(Spreng.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae
<i>Pera glabrata</i>	(Schott) Poepp. ex Baill.	Euphorbiaceae
<i>Nectandra oppositifolia</i>	Nees	Lauraceae
<i>Sclerobium denudatum</i>	Vogel	Leg. Caesalpinioideae
<i>Inga sessilis</i>	(Vell.) Mart.	Leg. Mimosoideae
<i>Andira fraxinifolia</i>	Benth.	Leg. Papilionoideae
<i>Virola bicuhyba</i>	(Schott.) Warb.	Myristicaceae
<i>Myrsine coriacea</i>	(Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	Myrsinaceae
<i>Guapira opposita</i>	(Vell.) Reitz	Nyctaginaceae
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Allemão	Phyllanthaceae
<i>Cupania oblongifolia</i>	Mart.	Sapindaceae
<i>Chrysophyllum flexuosum</i>	Mart.	Sapotaceae
Secundária tardia		
<i>Rollinia sericea</i>	(R.E.Fries) R.E.Fries	Annonaceae
<i>Malouetia arborea</i>	(Vell.) Miers	Apocynaceae
<i>Maytenus robusta</i>	Reissek	Celastraceae
<i>Hirtella hebeclada</i>	Moric. ex DC.	Chrysobalanaceae
<i>Garcinia gardneriana</i>	(Planch. & Triana) Zappi	Clusiaceae
<i>Sloanea guianensis</i>	(Aubl.) Benth.	Elaeocarpaceae
<i>Aniba firmula</i>	(Nees & Mart.) Mez	Lauraceae
<i>Ocotea dispersa</i>	(Nees) Mez	Lauraceae
<i>Guarea macrophylla</i>	Vahl	Meliaceae
<i>Mollinedia schottiana</i>	(Spreng.) Perkins	Monimiaceae
<i>Calyptranthes grandifolia</i>	O.Berg	Myrtaceae
<i>Eugenia cerasiflora</i>	Miq.	Myrtaceae
<i>Eugenia oblongata</i>	O.Berg	Myrtaceae
<i>Marlierea obscura</i>	O.Berg	Myrtaceae

Marlierea tomentosa	Cambess.	Myrtaceae
Myrcia pubipetala	Miq.	Myrtaceae
Heisteria silvianii	Schwacke	Olacaceae
Amaioua guianensis	Aubl.	Rubiaceae
Ecclinusa ramiflora	Mart.	Sapotaceae
Vochysia magnifica	Warm.	Vochysiaceae

Tabela 1. Lista das 38 espécies arbóreas características do Bioma Mata Atlântica utilizadas na criação dos modelos de distribuição geográfica, e grupo funcional (secundária inicial ou tardia) a que pertencem.

Todos os modelos de representação da área de ocorrência das 38 espécies para o cenário atual tiveram um alto índice de significância (Teste Binomial: duas proporções, $P < 0,05$ para todas as espécies), ou seja, um conjunto aleatório de pontos não demonstraria o padrão encontrado pelo mesmo algoritmo. Demonstrando que os modelos baseados nas variáveis ambientais e topográficas não poderiam apresentar tal distribuição apenas ao acaso.

No cenário atual, das 38 espécies estudadas, 25 espécies ocuparam menos que 33%, 8 espécies ocuparam de 33% a 66% e apenas 5 espécies ocuparam de 66% a 100% da área total para a criação dos modelos (Tabela 2).

Verificamos que em todas as espécies o cenário pessimista (aumento de 3°C a 4°C) em relação ao otimista (aumento de 1°C a 2,5°C) poderá causar uma maior redução de área potencial de ocorrência. Esses dados podem ser observados no gráfico 1, que mostra a relação entre as áreas de ocorrência dos dois cenários trabalhados. Para a espécie *Mollinedia schottiana* há uma maior amplitude entre os dois cenários, com um percentual de diferença de 47,33%, seguido pelas espécies *Euterpe edulis* (42,84%) e *Ocotea dispersa* (42,4%). Todavia as espécies *Guarea macrophylla* (0,95%), *Amaioua guianensis* (7,52%) e *Sclerolobium denudatum* (10,6%) possuem as menores diferenças de redução de área entre os dois cenários.

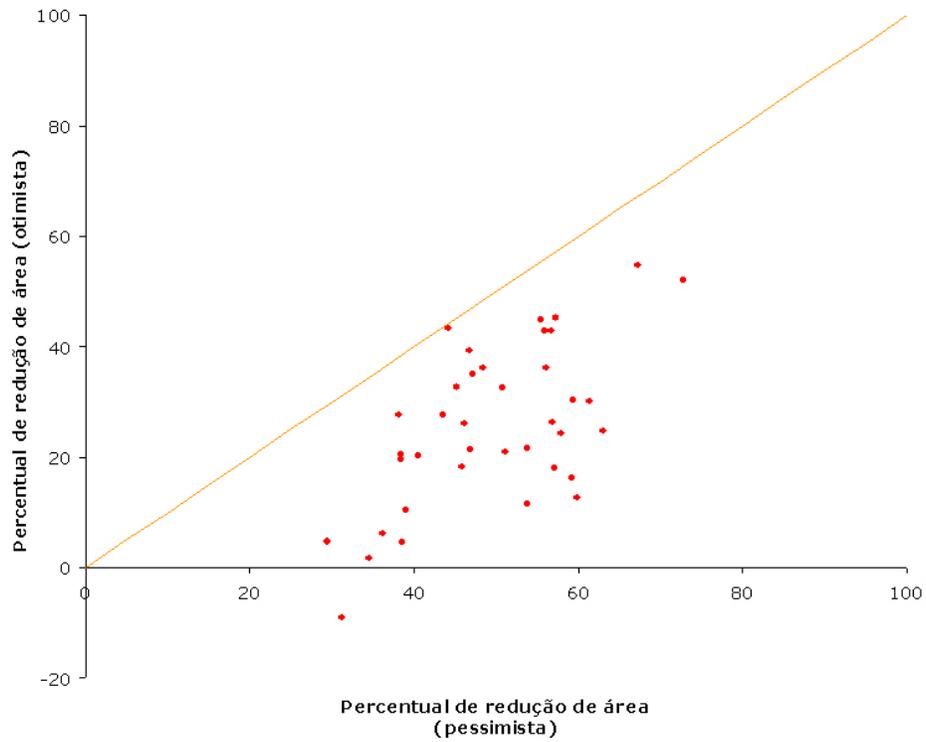


Gráfico 1. Relação entre o percentual de redução da área potencial de ocorrência das 38 espécies nos dois cenários, otimista e pessimista. A linha indica a igual porcentagem de redução nos dois cenários.

Nome da espécie	Familia	Cenário atual		Cenário otimista		Cenário pessimista		% de diferença entre os cenários futuros
		Km²	% da área total	Km²	% de redução	Km²	% de redução	
Guatteria australis	Annonaceae	3.726.625	32,73	2.972.125	20,25	2.219.450	40,44	20,20
Rollinia sericea	Annonaceae	964.650	8,47	904.550	6,23	615.825	36,16	29,93
Malouetia arborea	Apocynaceae	2.609.550	22,92	2.044.450	21,66	1.206.275	53,77	32,12
Schefflera angustissima	Araliaceae	2.660.625	23,37	2.182.400	17,97	1.141.275	57,11	39,13
Schefflera calva (Didymopanax calvum)	Araliaceae	2.329.500	20,46	1.485.575	36,23	1.020.375	56,20	19,97
Euterpe edulis	Arecaceae	2.320.325	20,38	1.941.250	16,34	947.050	59,18	42,85
Jacaranda puberula	Bignoniaceae	3.829.000	33,63	2.665.125	30,40	1.555.050	59,39	28,99
Maytenus robusta	Celastraceae	3.078.350	27,04	2.447.600	20,49	1.894.325	38,46	17,97
Hirtella hebeclada	Chrysobalanaceae	3.157.100	27,73	2.483.200	21,35	1.676.650	46,89	25,55
Clethra scabra	Clethraceae	3.071.600	26,98	2.320.150	24,46	1.292.225	57,93	33,47
Garcinia gardneriana	Clusiaceae	7.699.375	67,62	4.214.750	45,26	3.294.050	57,22	11,96
Sloanea guianensis	Elaeocarpaceae	7.300.750	64,12	4.166.225	42,93	3.160.300	56,71	13,78
Alchornea triplinervia	Euphorbiaceae	4.368.275	38,36	3.161.925	27,62	2.463.150	43,61	16,00
Pera glabrata	Euphorbiaceae	4.924.125	43,25	3.142.925	36,17	2.542.675	48,36	12,19
Aniba firmula	Lauraceae	8.819.200	77,45	5.038.525	42,87	3.884.675	55,95	13,08
Nectandra oppositifolia	Lauraceae	3.246.250	28,51	2.394.100	26,25	1.399.625	56,88	30,63
Ocotea dispersa	Lauraceae	1.418.025	12,45	1.256.900	11,36	655.600	53,77	42,40
Sclerolobium denudatum	Leg. Caesalpinioideae	3.369.275	29,59	2.439.125	27,61	2.081.875	38,21	10,60
Inga sessilis	Leg. Mimosoideae	2.743.475	24,09	2.063.475	24,79	1.011.325	63,14	38,35
Andira fraxinifolia	Leg. Papilionoideae	6.420.575	56,39	4.334.850	32,49	3.160.000	50,78	18,30
Guarea macrophylla	Meliaceae	8.922.075	78,36	5.059.625	43,29	4.974.625	44,24	0,95
Mollinedia schottiana	Monimiaceae	2.544.250	22,34	2.225.250	12,54	1.020.825	59,88	47,34
Virola bicuhyba	Myristicaceae	2.031.175	17,84	1.419.300	30,12	783.125	61,44	31,32
Myrsine coriacea	Myrsinaceae	6.282.525	55,18	3.469.900	44,77	2.800.375	55,43	10,66
Calyptanthes grandifolia	Myrtaceae	3.600.725	31,62	3.429.375	4,76	2.540.350	29,45	24,69
Eugenia cerasiflora	Myrtaceae	3.466.475	30,44	2.742.675	20,88	1.692.175	51,18	30,30

<i>Eugenia oblongata</i>	Myrtaceae	2.859.125	25,11	2.341.525	18,10	1.545.875	45,93	27,83
<i>Marlierea obscura</i>	Myrtaceae	3.439.100	30,20	3.075.525	10,57	2.100.775	38,91	28,34
<i>Marlierea tomentosa</i>	Myrtaceae	3.474.925	30,52	3.319.650	4,47	2.133.700	38,60	34,13
<i>Myrcia pubipetala</i>	Myrtaceae	3.746.900	32,91	3.015.525	19,52	2.305.525	38,47	18,95
<i>Guapira opposita</i>	Nyctaginaceae	4.299.800	37,76	2.794.675	35,00	2.271.725	47,17	12,16
<i>Heisteria silvianii</i>	Olacaceae	1.220.400	10,72	902.400	26,06	657.300	46,14	20,08
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Phyllanthaceae	4.406.225	38,70	2.969.125	32,62	2.413.475	45,23	12,61
<i>Amaioua guianensis</i>	Rubiaceae	9.412.800	82,67	5.718.575	39,25	5.010.000	46,77	7,53
<i>Cupania oblongifolia</i>	Sapindaceae	3.522.900	30,94	3.464.300	1,66	2.307.250	34,51	32,84
<i>Chrysophyllum flexuosum</i>	Sapotaceae	3.261.350	28,64	3.552.800	-8,94	2.245.125	31,16	40,10
<i>Ecclinusa ramiflora</i>	Sapotaceae	8.824.675	77,50	3.997.675	54,70	2.888.625	67,27	12,57
<i>Vochysia magnifica</i>	Vochysiaceae	734.500	6,45	353.475	51,88	199.350	72,86	20,98

Tabela 2. Área e porcentagem de ocupação das espécies de acordo com cada cenário estudado.

Panorama de mudanças das espécies

A espécie *Alchornea triplinervia* (Figura 19) possui uma área potencial atual de 38% do território modelado, o que representa cerca de 4.368.275 km². No cenário pessimista há uma redução de 43% e no otimista de 27% da potencial área ocupada. Além de uma grande concentração no Sul do país e em algumas partes do território brasileiro essa distribuição se afastou da costa.

Amaioua guianensis (Figura 40), é a espécie de maior distribuição espacial potencial por todo o território nacional (cenário atual, 82% e 9.412.800 km²) tem uma grande redução nos dois cenários (otimista 39%, pessimista 46%) e um deslocamento para o sudeste do Brasil se concentrando na área costeira, entretanto permanece ocupando os estados de Minas Gerais e sul de Goiás.

Andira fraxinifolia (Figura 26) também é uma espécie de grande distribuição potencial no cenário atual (6.420.575 km², 56%), entretanto as mudanças climáticas poderão reduzir em 50% e 32% a potencial área de ocorrência nos cenários pessimista e otimista respectivamente. *Andira fraxinifolia* se concentrará no sudeste do Brasil, entretanto tem a possibilidade de ocorrer em toda a costa brasileira, do Amapá ao norte do Rio grande do Sul.

Aniba firmula (Figura 21), uma espécie de ampla distribuição no Brasil, possui uma área potencial de ocorrência de 77% do território utilizado nesse estudo (8.819.200 km²). No cenário pessimista se torna restrita ao sul da Bahia e sul e sudeste do Brasil, e no cenário otimista essa redução também existe entretanto com menor intensidade (55% e 42%).

Para a espécie *Calyptanthes grandifolia* (Figura 31) foi obtido uma pequena área de ocorrência potencial (3.600.725 km² e 31%) e uma pequena redução também nos dois cenários (pessimista 29% e otimista 4%). Essa espécie teve uma associação leve com as áreas mais altas do Brasil e Chile, o que poderia estar associado a uma adaptação para lugares mais altos e frios.

Chrysophyllum flexuosum (Figura 42) tem uma área potencial relativamente restrita (31%) a costa e ao interior dos estados do sul brasileiro. No entanto foi à única espécie que aumentou sua potencial área de ocorrência no cenário otimista, abrangendo a costa brasileira do Rio Grande do Sul ao sul da Bahia. Esse aumento foi pequeno em relação à área potencial ocupada no cenário atua, apenas 8%, mas relativamente importante, já que foi a única espécie que se comportou desta maneira. Entretanto, ao se projetar essa espécie no cenário pessimista ela voltou a se

comportar como todas as outras espécies estudadas, reduzindo sua área em 31%, concentrando-se nos estados brasileiros mais ao sul e relativamente mais frios (Santa Catarina e Paraná). Já no cenário mais otimista essa área abrange a costa brasileira do Rio Grande do Sul ao sul da Bahia.

Clethra scabra (Figura 16) tem sua projeção atual no território brasileiro relativamente restrita (26%) localizada no sul e sudeste do Brasil. No cenário otimista há uma redução de pouco mais de 24% apenas restringindo um pouco a área de ocorrência, mas ainda ocupando os estados do sul e sudeste. Já no cenário pessimista a situação piora, chegando a reduzir mais de 56% da área e restringindo drasticamente a área de ocorrência para os estados do sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

Cupania oblongifolia (Figura 41) tem sua área potencial atual abrangendo pouco menos de um terço da área estudada (31%, 3.522.900 km²) e foi à espécie que obteve a menor taxa de redução de área potencial no cenário otimista, cerca de 1,7% (3.464.300 km²). E essa espécie ainda se comporta de um modo diferente das outras estudadas, ela demonstra uma inversão no padrão, deslocando-se para o norte do país, ocupando as áreas dos estados do sudeste e o estado da Bahia.

Ecclinusa ramiflora (Figura 43) é a terceira espécie de maior abrangência potencial no cenário atual com cerca de 77% de cobertura da área estudada. Tem sua cobertura potencial em praticamente todo o território brasileiro, com grandes focos de ocorrência ao norte do estado do Amazonas, no interior dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul e em uma faixa estreita de todo o litoral brasileiro, entretanto as suas projeções para os cenários futuros não são muito animadoras. Para o cenário otimista tem uma redução de 54% e no pessimista 67%, concentrando-se nos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e sul da Bahia.

Eugenia cerasiflora (Figura 32) é uma espécie que tem sua concentração atual potencial tipicamente na área de Mata Atlântica, percorrendo os estados do sul, do sudeste e o sul da Bahia e o litoral nordestino. Tem uma abrangência relativamente pequena no cenário atual (cerca de 30%) e uma grande redução no cenário pessimista, 51%, a qual esta pontualmente concentrada nos estados do Sul do país. Já no cenário otimista essa cobertura é maior (redução de 20% em relação a área atualmente projetada), cobrindo também os estados do sul, do sudeste e o sul da Bahia.

Eugenia oblongata (Figura 33) é também uma espécie de pouca cobertura potencial do território brasileiro cenário atual (25%); associada a um relevo mais

acidentado (cerca de 500 a 1500 m) *E. oblongata* sofre uma pequena redução de área potencial no cenário otimista, cerca de 18%, entretanto no cenário pessimista onde as mudanças climáticas mais drásticas são previstas essa redução chega a 45%, se concentrando nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

Euterpe edulis (Figura 12), o famoso e devastado palmito Jussara, é uma espécie endêmica dos estados do sul e sudeste do Brasil com uma área potencial de apenas 20%. Por ser endêmica, sua redução é drástica no cenário pessimista, cerca de 59% da pequena área já existente. Já no cenário otimista a redução é pequena (16%) mas em análise com sua pequena área de ocupação potencial é uma grande redução.

Garcinia gardneriana (Figura 17) é uma das 5 espécies de maior abrangência em ocupação potencial da área estudada. Ocupa cerca de 67% e possui nos cenários projetados (otimista, 45% e pessimista, 57%) uma grande redução de área potencial, concentrando-se, como a maioria das espécies na atual zona de Mata Atlântica.

Guapira opposita (Figura 37), outra espécie endêmica da região ocupada pela Mata Atlântica, tem cerca de 37% da área potencial ocupada. No cenário otimista sua redução é de 35%, restringindo-se com alto grau de probabilidade de ocorrência aos estados litorâneos do sul e sudeste brasileiro. Já no cenário pessimista essa alta probabilidade tem uma queda de cerca de 47%, restringindo a espécie aos estados do sul do Brasil e aos estados de São Paulo, sul de Minas e sul da Bahia.

Guarea macrophylla (Figura 27) é a segunda espécie de maior cobertura potencial, cobrindo todo o litoral brasileiro e parte do interior do país (78%, 8.922.075 km²). A diferença entre os dois cenários futuros é pouca, porém a redução é significativamente grande, chegando a 44% no cenário pessimista e 43% no otimista. Seguindo o padrão da maioria das espécies estudadas, o padrão de distribuição potencial de *Guarea macrophylla* se desloca para o sul do país preenchendo a área da atual distribuição do Bioma Mata Atlântica e o interior dos estados de Goiás e Minas Gerais.

Gutteria australis (Figura 7) é uma espécie que se concentra na atual distribuição do Bioma Mata Atlântica e em relação à região estudada possui uma pequena área potencial de distribuição chegando a ocupar apenas 37%. Essa área é bastante reduzida no cenário pessimista (40%), onde a espécie se concentra nos estados mais frios do sul do Brasil, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul com um pequeno foco no interior de Minas Gerais. Essa situação fica um pouco menos drástica no cenário otimista, onde vemos uma redução de pouco mais que 20% da

área potencial ocupada, situada nos estados do sul brasileiros e no interior de Minas Gerais e Sul da Bahia.

Heisteria silvianii (Figura 38) é a terceira espécie de menor área potencial projetada para o cenário atual (aproximadamente 11%), ocorre apenas no sul do Brasil, mais próximo à costa e contempla os estados do sul, São Paulo e o norte do Rio de Janeiro. No cenário otimista a redução de área é pequena, cerca de 26%, ocorrendo no sul dos estados de Minas Gerais e São Paulo, no Paraná e em Santa Catarina. Já no cenário pessimista essa área é extremamente reduzida, ocorrendo uma retração de 46%, entretanto como a área atual projetada é muito pequena a ocorrência dessa espécie fica muito restrita, ocorrendo apenas no oeste de Santa Catarina.

De acordo com as projeções a espécie *Hirtella hebeclada* (Figura 15) possui um pequena área de ocorrência no cenário atual, cerca de 27% de cobertura. Nos cenários futuros ela segue o padrão encontrado para a maioria das espécies, tendo uma redução de 21% no cenário otimista e de 47% no pessimista. Essa espécie reduz sua área em direção ao sul do país, se mantendo na região litorânea com grande probabilidade de ocorrência nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

Hyeronima alchorneoides (Figura 39) é uma espécie que possui uma área potencial de ocorrência mediano, cerca de 38%, concentrando-se em grande parte do litoral brasileiro, em áreas do interior dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. Entretanto no cenário otimista, sofrerá potencialmente uma redução da área potencial de 32%, concentrando-se nos estados do sul e sudeste do Brasil e o sudoeste do estado da Bahia. Já no cenário mais pessimista essa redução chega a 45% e privilegia, com uma maior probabilidade de ocorrência, os estados do sudeste e sul do Brasil.

Inga sessilis (Figura 25) é uma das espécies de menor área potencial de ocorrência (24%), chega a ocupar apenas os estado do sul, São Paulo, Rio de Janeiro e o sul do estado de Minas Gerais. A redução no cenário otimista não é grande, cerca de 24%, entretanto devido a sua pequena área atual de ocorrência essa redução pode ser considerada preocupante. Já no cenário pessimista a redução é mais significativa e muito preocupante se tratando de uma espécie extremamente endêmica e de baixa área de ocupação; chega a ter uma redução de 63% ocorrendo apenas nos estados do Paraná, Santa Catarina, o Centro oeste do estado do Rio Grande do Sul, São Paulo e apenas um pequeno foco no sul de Minas Gerais.

Jacaranda puberula (Figura 13) é uma espécie de média distribuição potencial no cenário atual chegando a ocorrer em 33% da área estudada, concentrando-se no

litoral dos estados do sul e sudeste do Brasil, com focos no sul da Bahia e no nordeste de Goiás. No cenário otimista, *J. puberula*, apresenta uma redução de área potencial de 30% porém ainda ocupa todos os estados de sua distribuição atual. Já no cenário mais pessimista a redução é drástica e preocupante, chegando a reduzir cerca de 59% de sua área potencial, se concentrando apenas nos estados do sul brasileiro.

Malouetia arborea (Figura 9) é uma espécie rarefeita no território brasileiro, chega a ocupar potencialmente apenas 22% da área estudada, concentrando-se nos estados do sul e sudeste brasileiro, de forma fragmentada. No cenário otimista a redução é de 21%, entretanto no cenário pessimista chega a 53% restringindo à apenas os estados do sul do Brasil.

Marlierea obscura (Figura 34), *Marlierea tomentosa* (Figura 35) e *Maytenus robusta* (Figura 14) apresentam resultados semelhantes nos 3 cenários. No cenário atual, seguem o padrão de ocupação do bioma Mata Atlântica e ocupam, potencialmente, cerca de 30% da área estudada. Nos cenários futuros suas reduções são pequenas chegando, respectivamente, a 10%, 4% e 20% no cenário otimista e 38% no pessimista. Entretanto no pessimista a probabilidade de ocorrer com mais de 90% de chance é reduzida e concentrada nos estados do Paraná e Santa Catarina, com apenas um foco no interior de Minas Gerais.

Mollinedia schottiana (Figura 28) é uma espécie também de área potencial de ocupação restrita no cenário atual, chegando a ocupar 22%. No cenário otimista a redução é pequena, cerca de 12% entretanto, assim como a espécie *Inga sessilis* tem uma distribuição reduzida e centralizada nos estado do sul, chegando a representar, no cenário pessimista, uma redução preocupante de 59%.

Myrcia pubipetala (Figura 36) e *Sclerolobium denudatum* (Figura 24) tem uma distribuição na zona típica de Mata Atlântica chegando a ocupar, respectivamente, 32% e 29% da área estudada e uma pequena redução de 12% e 27% no cenário otimista e de 38%, ambas, no pessimista. Como a maioria das espécies estuda, essas duas se comportam de maneira semelhante, se deslocando para o sul do Brasil com a presença de áreas mais ao norte com uma probabilidade de ocorrência menor de 90%.

Myrsine coriacea (Figura 30) e *Sloanea guianensis* (Figura 18) tem comportamentos parecidos frente aos cenários deste estudo. As áreas de ocorrência potenciais das duas espécies são, respectivamente, 55% e 64%, contemplando o litoral sul, sudeste e nordeste brasileiros com manchas de ocorrência no interior dos estados do norte e nordeste brasileiros. Nos cenários modificados temos uma grande redução nos estados do norte e nordeste tendo seus focos de ocorrência mais

centralizados nos estados do sul e sudeste obtendo uma redução de, respectivamente, no cenário otimista de 44% e 42% e no cenário pessimista 55% e 56%.

As espécies *Nectandra oppositifolia* (Figura 22), *Schefflera angustissima* (Figura 10) e *Schefflera calva* (Figura 11) possuem estatísticas parecidas entre os três cenários. Respectivamente, ocupam nos modelos atuais de distribuição 28%, 23% e 20% e nos cenários alterados há pouca diferença, obtendo no cenário otimista porcentagens de redução de 26%, 17% e 36% e no pessimista uma alta taxa de redução e redirecionamento para o sul do país, 56%, 57% e 56%.

Ocotea dispersa (Figura 23) e *Virola bicuhyba* (Figura 29) possuem uma área potencial atual próxima de 12% e 17% respectivamente. No cenário pessimista a semelhança ocorre onde, respectivamente, tem uma taxa de redução de 53% e 61%, onde a espécie *Virola bicuhyba* possui manchas de ocorrência no Centro-Oeste e nordeste do Brasil, ao contrario da *Ocotea dispersa* que esta ausente dessas localidades e se concentra apenas nos estados do sul e sudeste brasileiro. Já no cenário otimista se comportam semelhantemente na direção do deslocamento, sul do Brasil, mas com taxas de redução um pouco diferentes, 11% e 30%.

Pera glabrata (Figura 20) é uma espécie de média distribuição potencial atual, com 43% de cobertura, concentrados no litoral e interior dos estados do sul e sudeste e em parte do litoral sul do nordeste brasileiro. Em relação os cenário otimista essa espécie se desloca para o sul do país e se concentra, com uma redução de 36%, com grande probabilidade de ocorrência nos estados do sul e sudeste e sul da Bahia. No cenário pessimista essa taxa permanece alta, com cerca de 48% de redução, concentrando-se, com alto grau de probabilidade nos estado do sul e sudeste brasileiros.

Por fim as duas espécies de menor área de ocorrência potencial, a *Rollinia sericea* (Figura 8) com 8% e *Vochysia magnifica* (Figura 44) com 6%, ocupam semelhantemente pequenas áreas fragmentadas nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. No cenário otimista a espécie *Rollinia sericea* sofre uma pequena redução de apenas 6%, o que em comparação com sua pequena área de ocorrência, pode ser preocupante e no cenário pessimista, 36%. Já *Vochysia magnifica* se torna uma das espécies mais ameaçada do estudo tendo no cenário otimista uma enorme redução de 51%, em comparação com sua área de ocorrência potencial atual e no cenário pessimista a enorme marca de 72% de redução de área potencial.

Espécies secundárias iniciais e tardias

Após a divisão entre das espécies em secundária inicial e tardia obtivemos dois grupos com o mesmo número de espécies e através da média simples do conjunto das potenciais áreas de ocorrência, dois grupos também muito parecidos (Tabela 3). Essa semelhança apareceu também nos testes estatísticos (Teste-t), onde os dois conjuntos de espécies não apresentaram nenhuma diferença entre as áreas potenciais de ocorrência em nenhum dos dois cenários.

Tabela 3. Área em km² e porcentagem da área total utilizada na criação dos modelos potencialmente ocupada pelos dois grupos funcionais utilizados: espécies secundárias iniciais e espécies tardias.

Parâmetro	Secundaria inicial	Secundaria Tardia	P
Média da % de redução no cenário pessimista	50,34	48,93	<0
Média da % de redução no cenário otimista	25,32	25,91	<0
Média da área (km ²) de redução no cenário pessimista	1.869.730,56	2.172.841,25	<0
Média da área (km ²) de redução no cenário otimista	2.709.618,06	2.936.873,75	<0
Número de espécies	19	19	

Após a análise individual de cada espécie, foram somados os mapas das potenciais áreas de ocorrência das 38 espécies de cada cenário, estabelecendo um panorama geral (figuras 45).

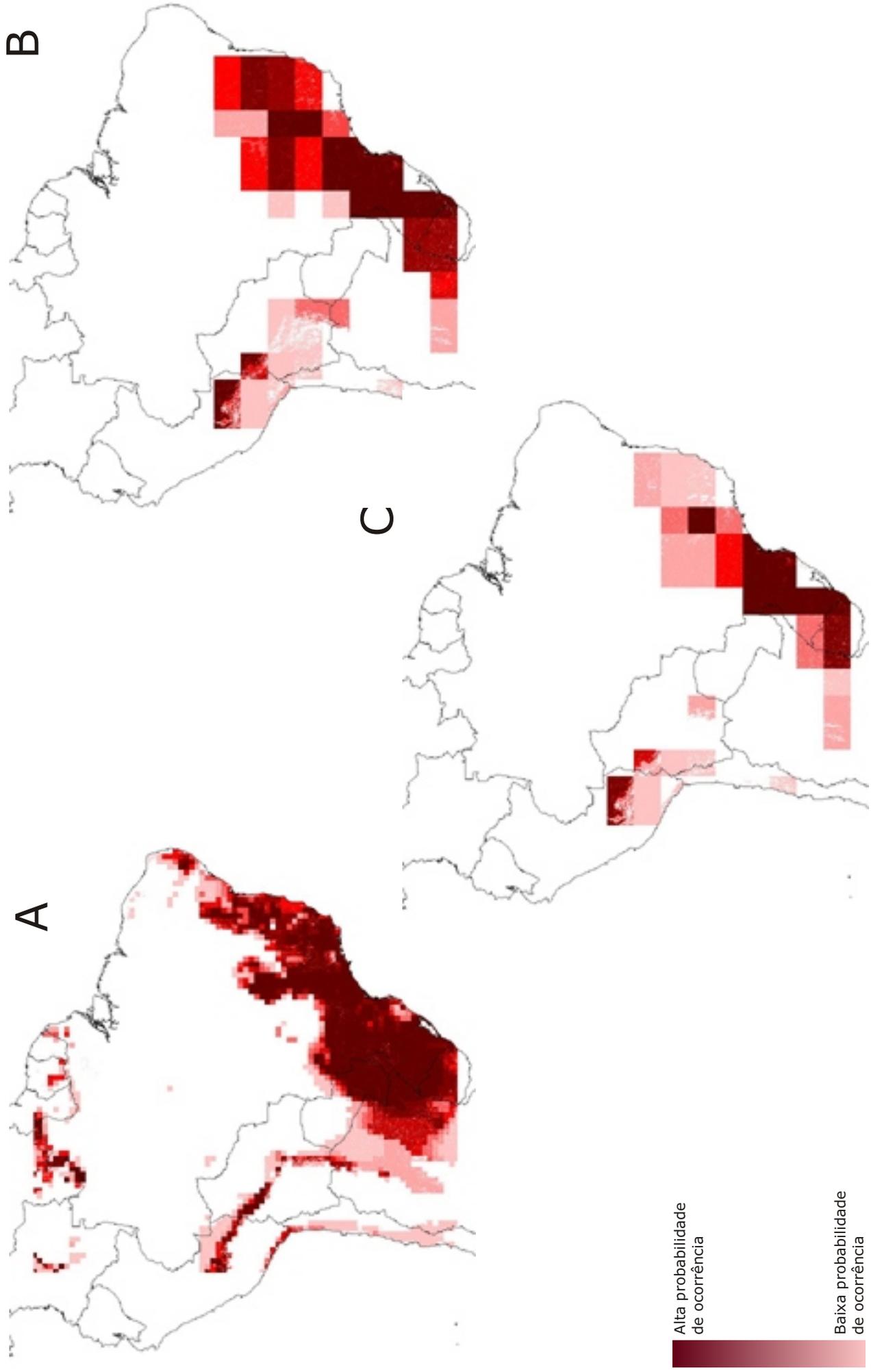


Figura 07. Mapa da área potencial de ocorrência de *Guatteria australis* (Annonaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 20,2%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 40,4%).

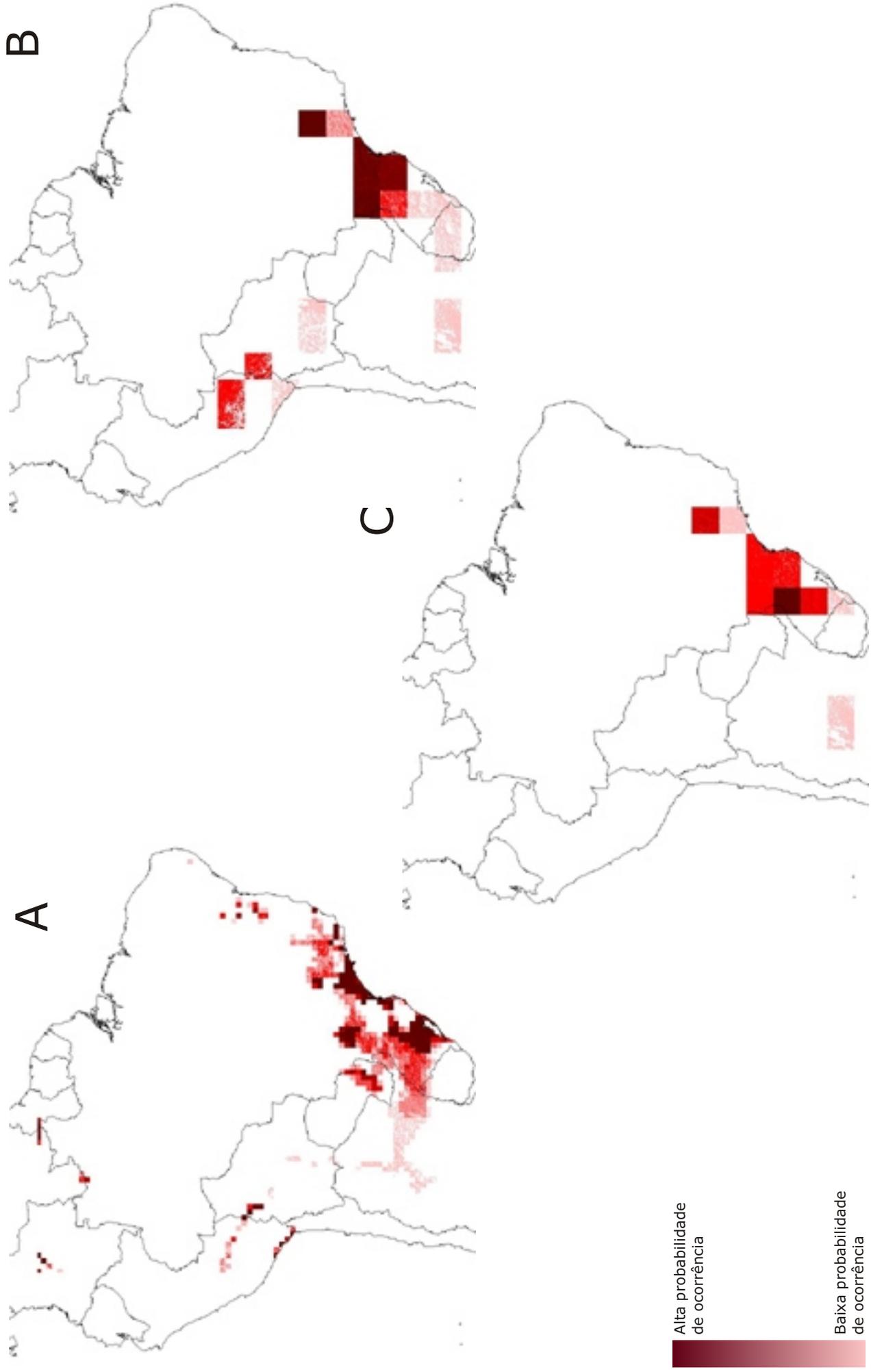


Figura 08. Mapa da área potencial de ocorrência de *Rollinia sericea* (Annonaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HGGAX50, redução de 6,2%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGDX50, redução de 36,2%).

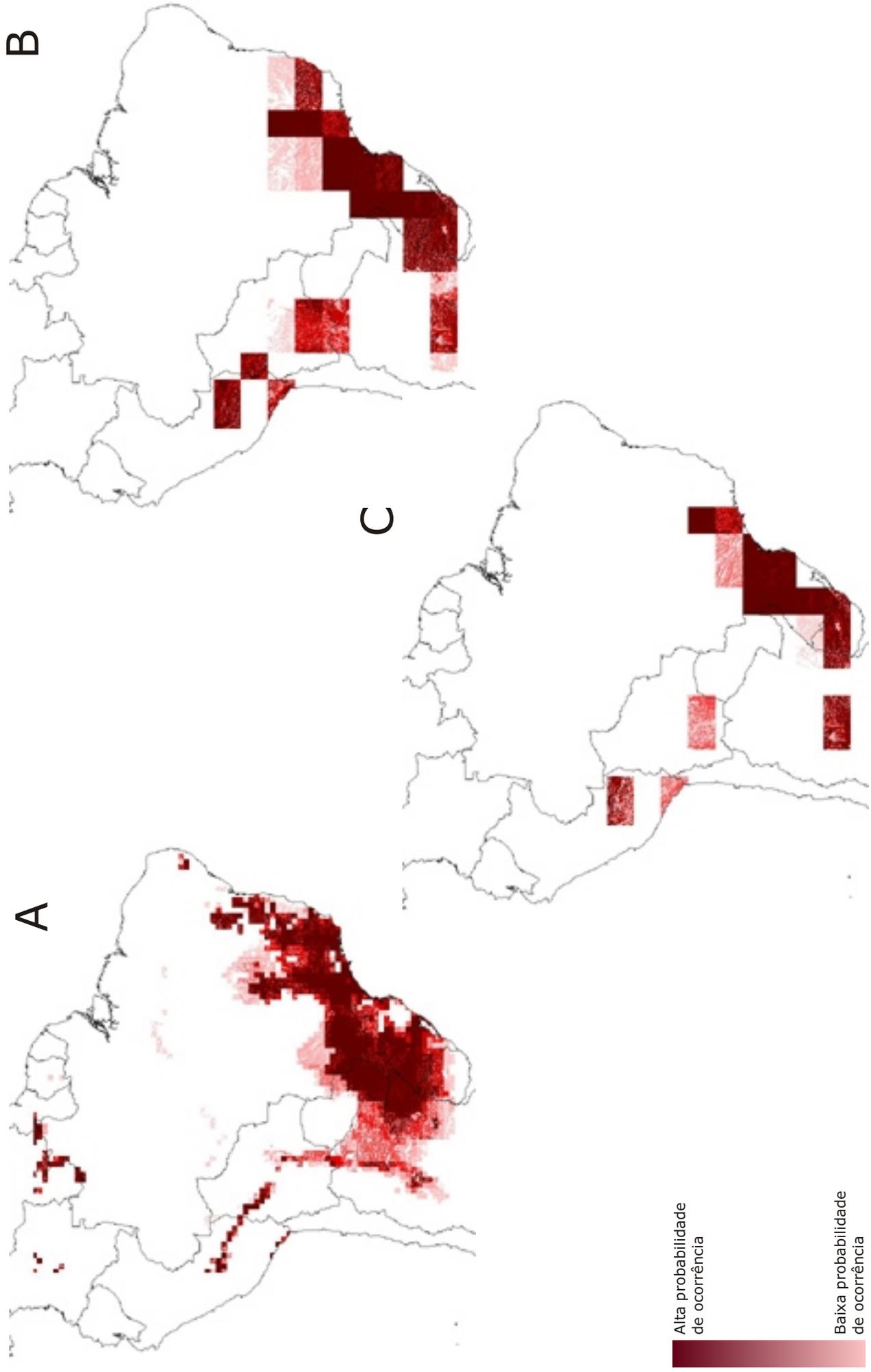


Figura 09. Mapa da área potencial de ocorrência de *Malouetia arborea* (Apocynaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 21,7%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 53,8%).

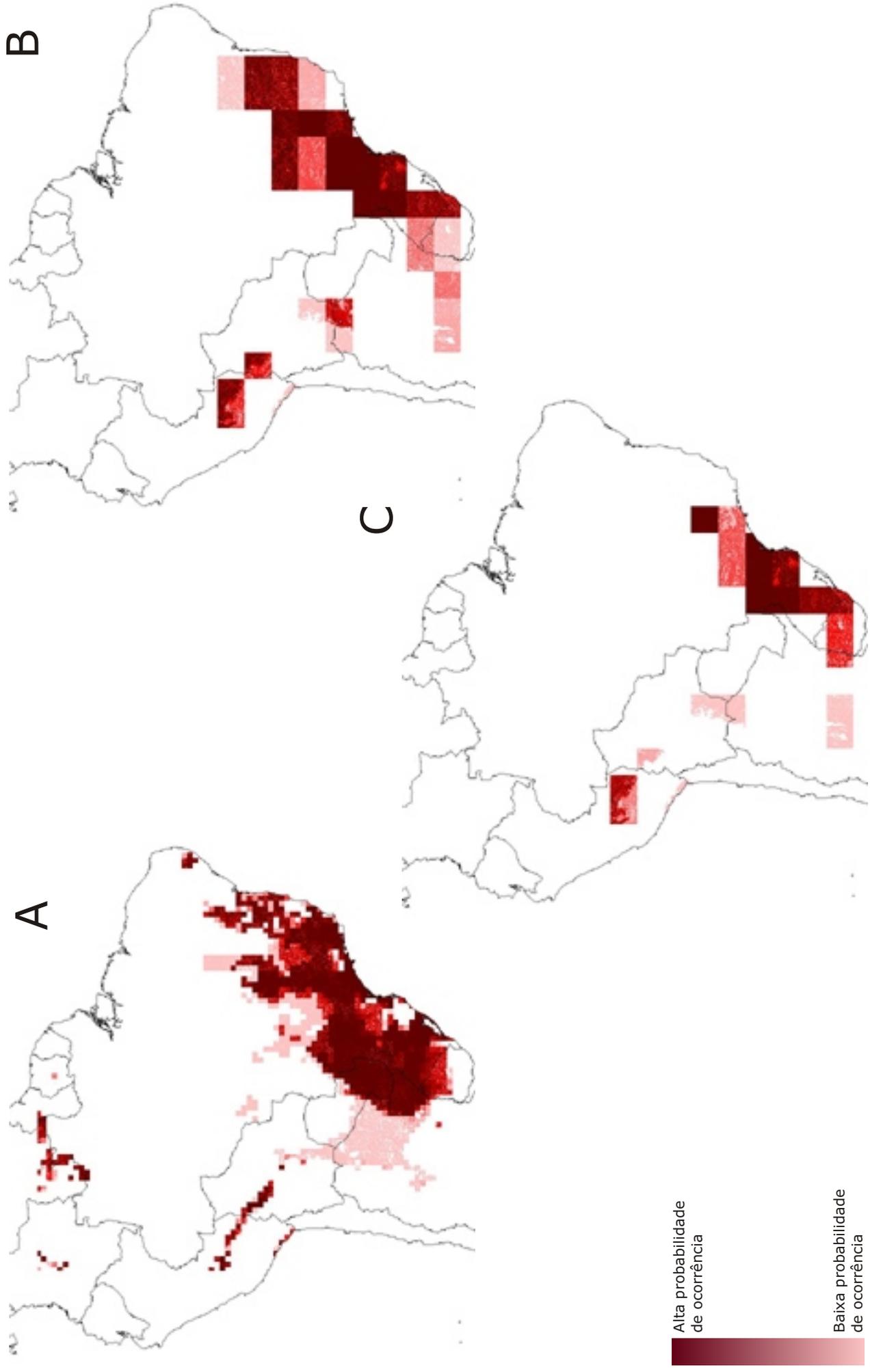
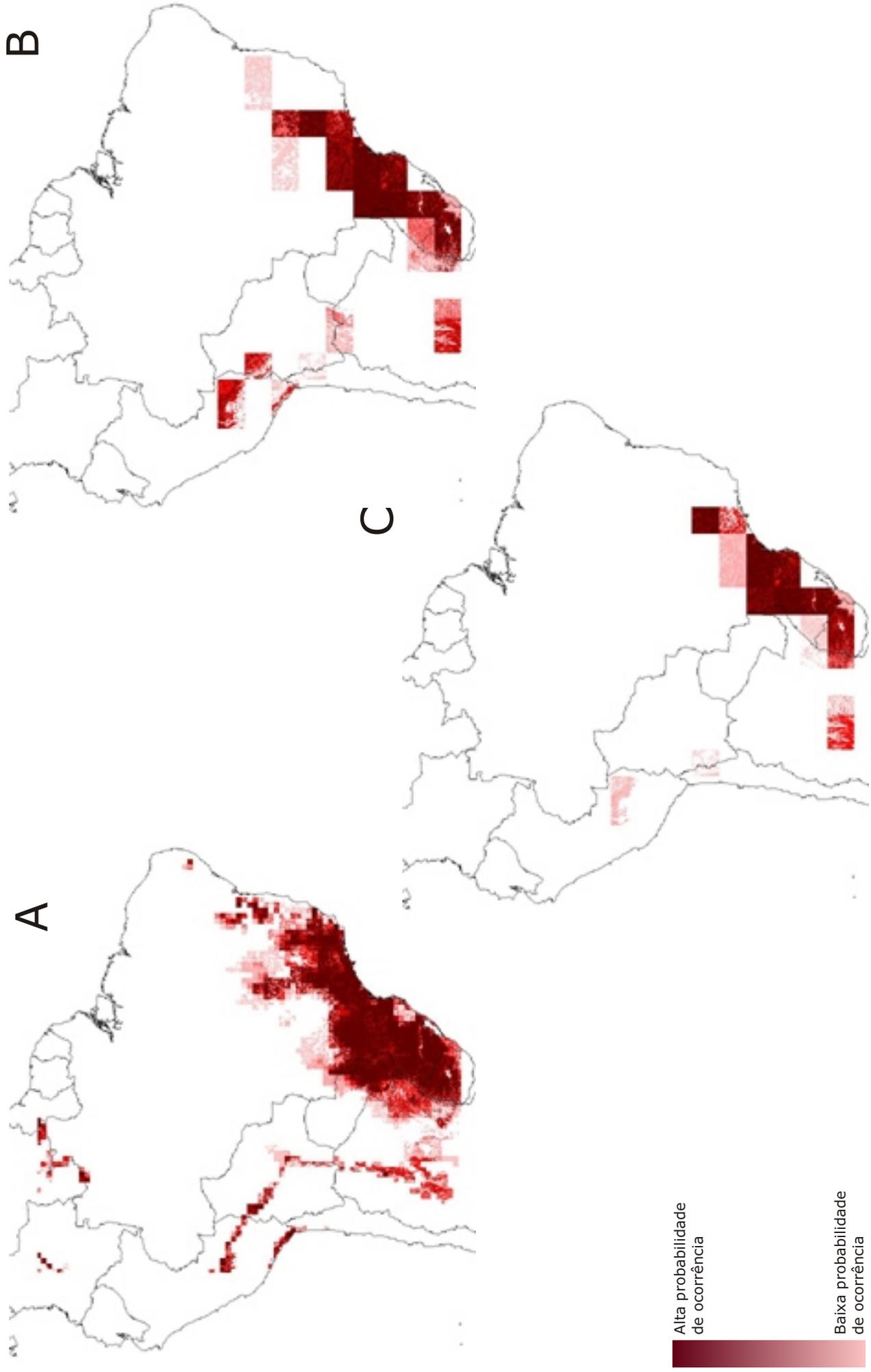
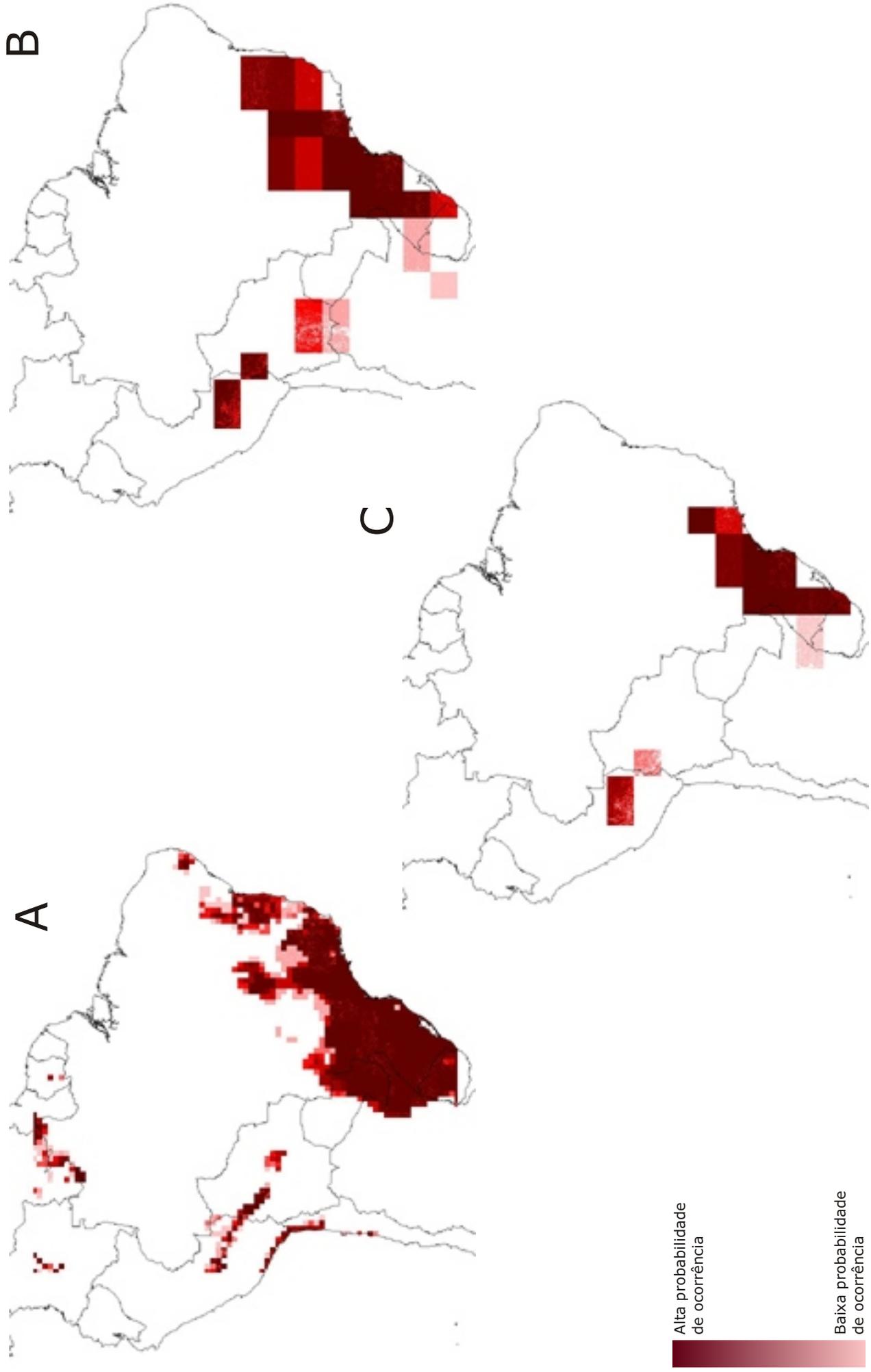


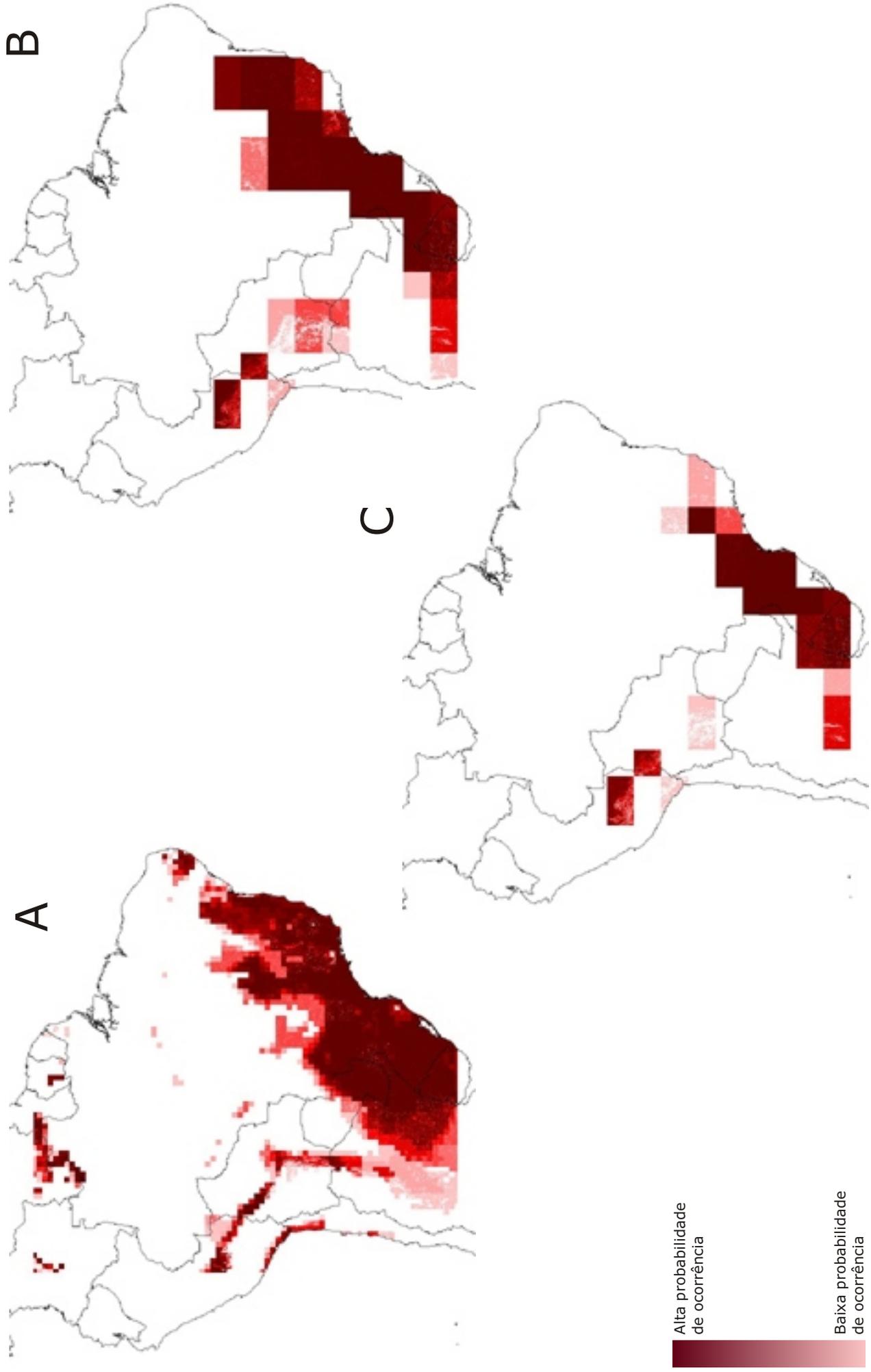
Figura 10. Mapa da área potencial de ocorrência de *Schefflera angustissima* (Araliaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 18%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 57,1%).



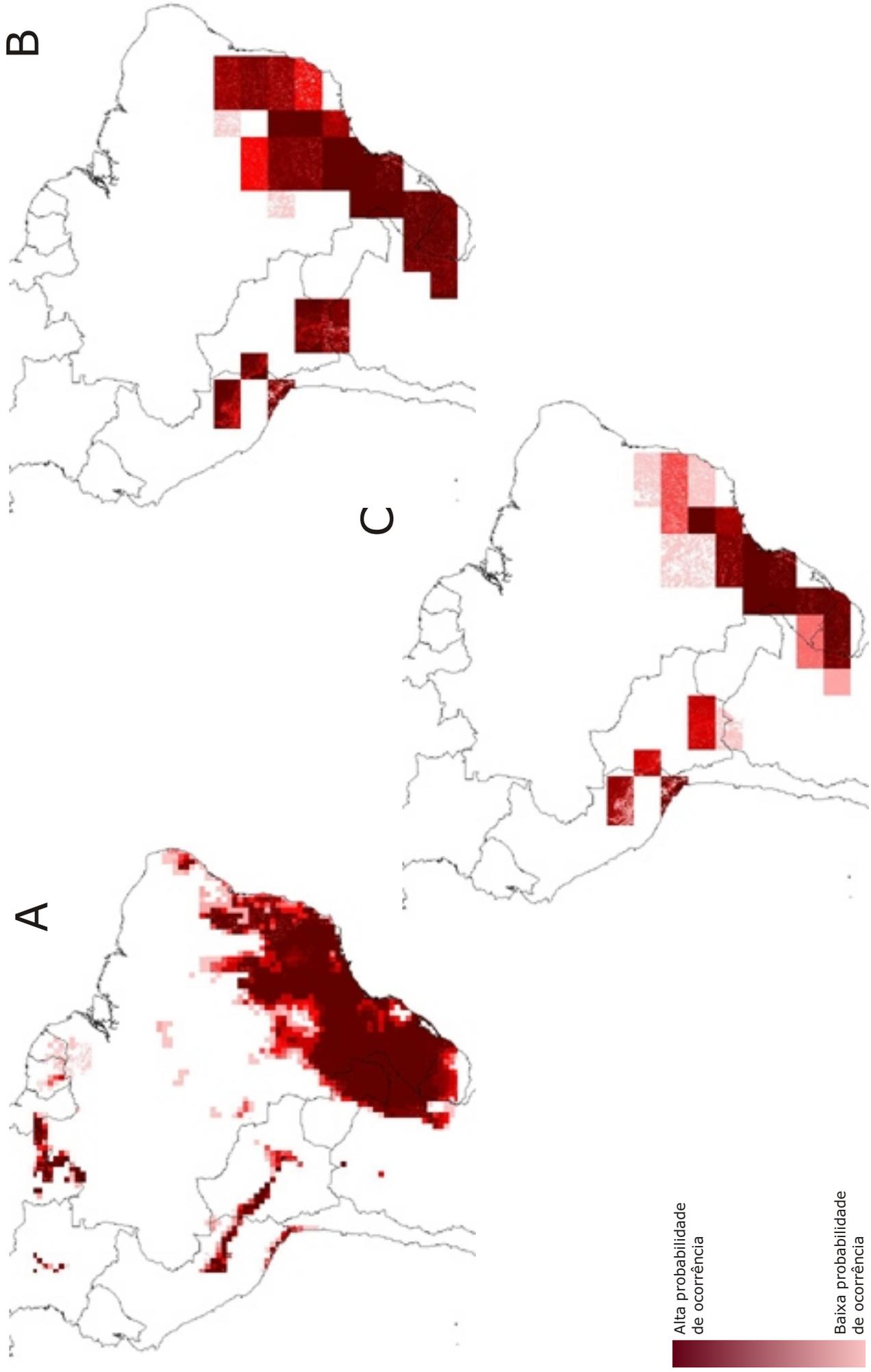
40 **Figura 11.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Schefflera calva* (*Didymopanax calvum*) (Araliaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 36,2%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 56,2%).



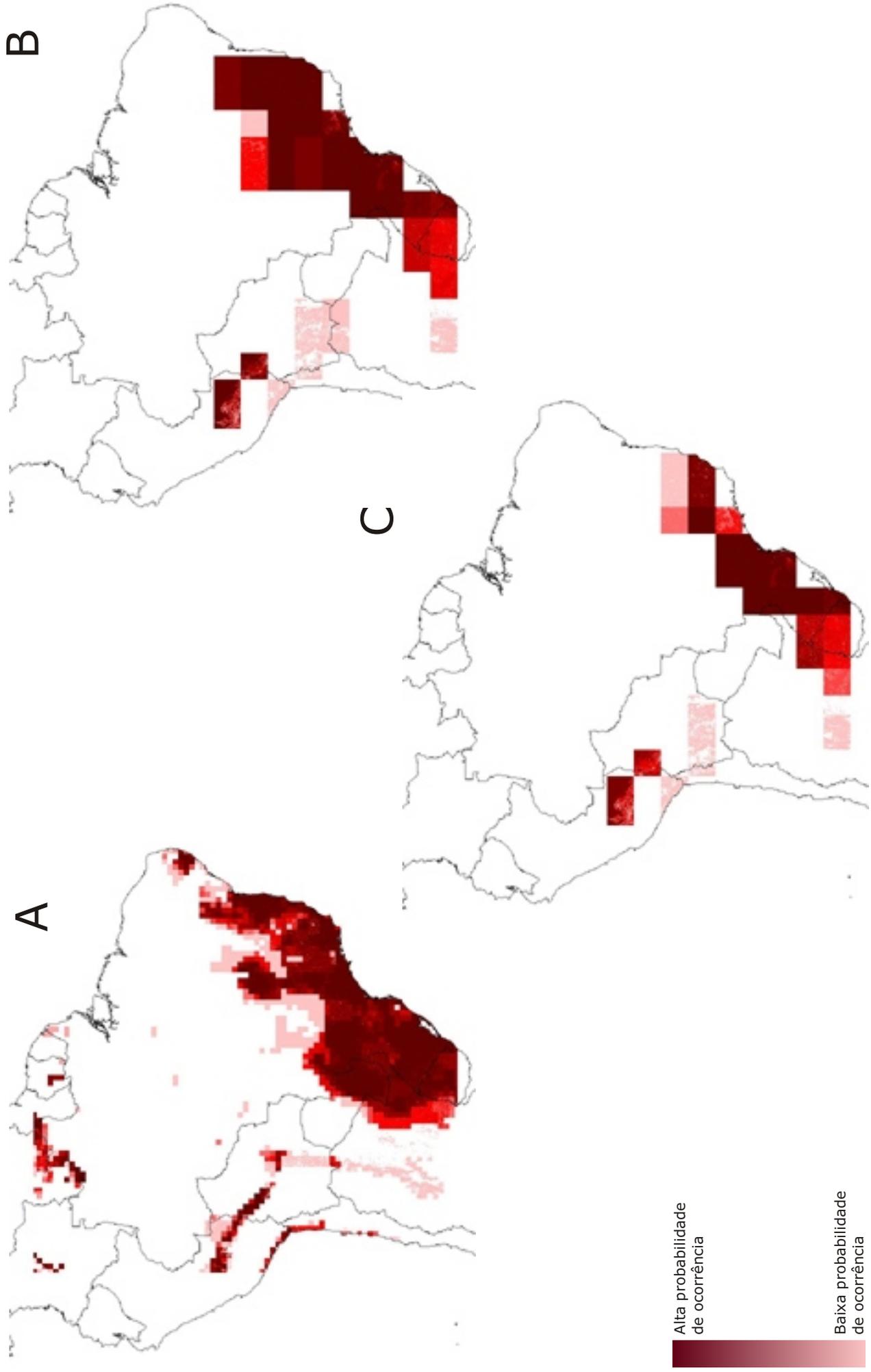
4- **Figura 12.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Euterpe edulis* (Arecaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 16,3%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 59,2%).



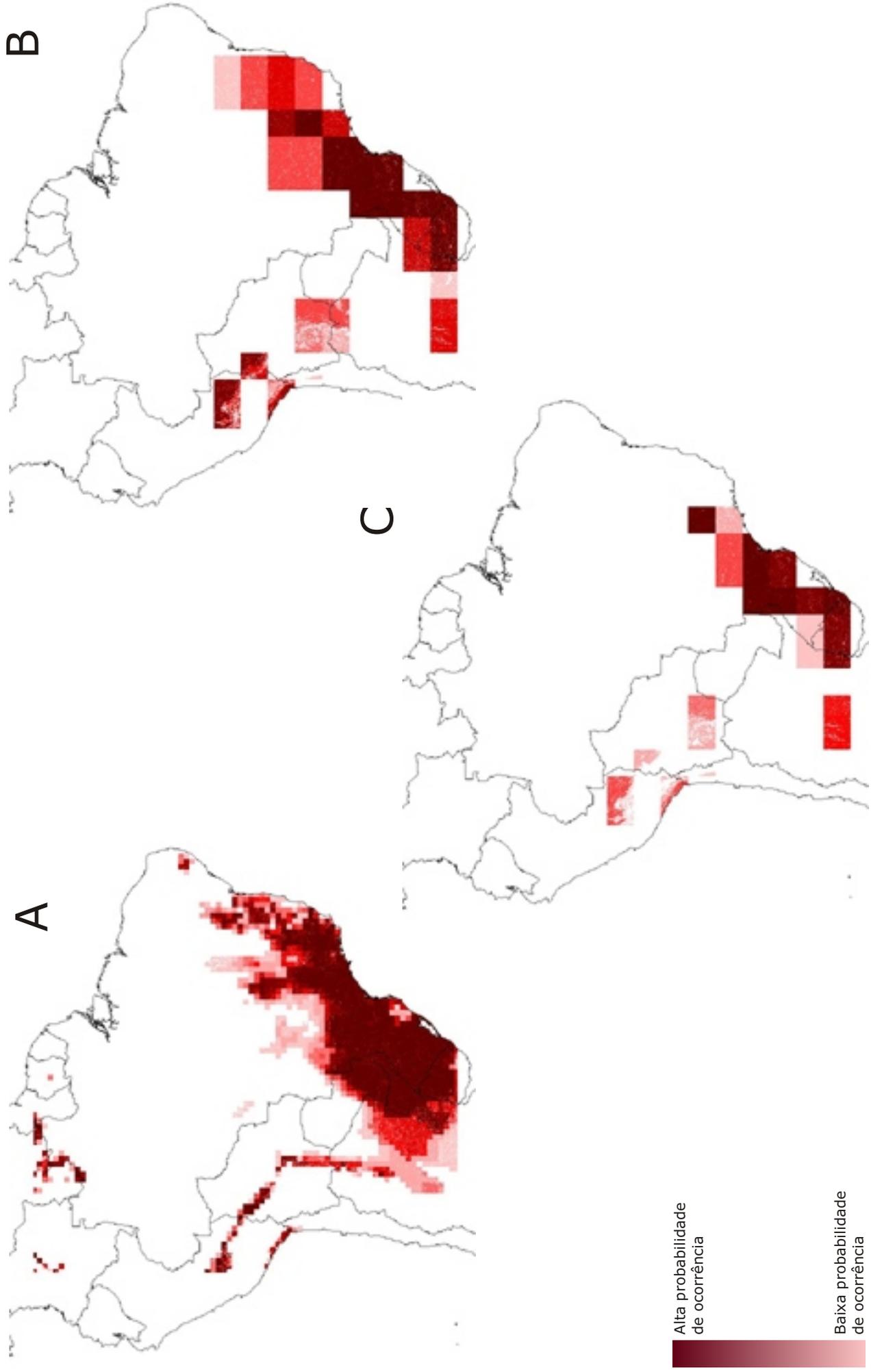
42 **Figura 13.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Jacaranda puberula* (Bignoniaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 30,4%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 59,4%).



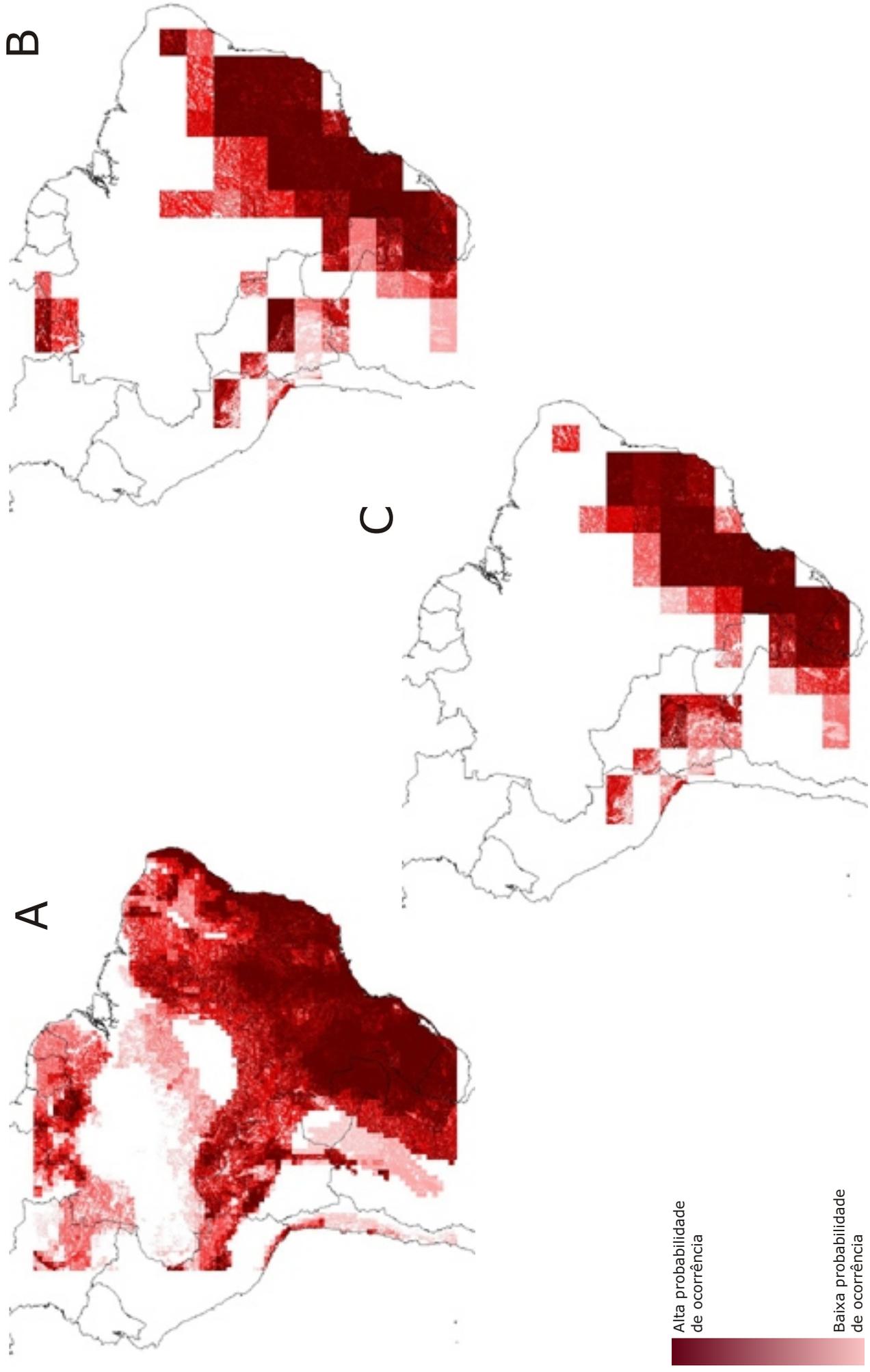
43 **Figura 14.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Maytenus robusta* (Celastraceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 20,5%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 38,5%).



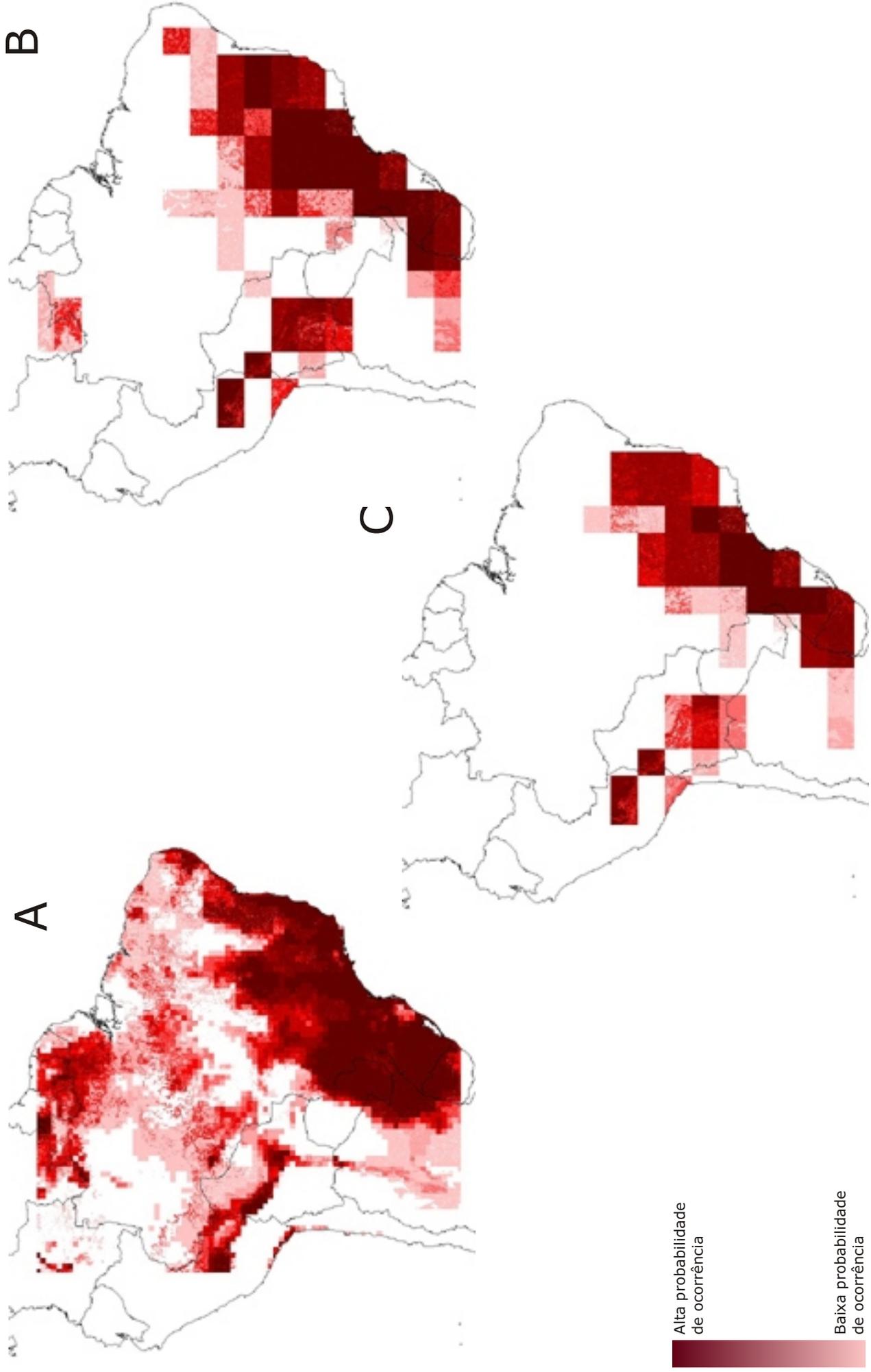
4 **Figura 15.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Hirtella hebeclada* (Chrysobalanaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 21,3%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 46,9%).



41 **Figura 16.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Clethra scabra* (Clethraceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, aumento de 24,5%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 57,9%).



46 **Figura 17.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Garcinia gardneriana* (Clusiaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 45,3%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 57,2%).



47 **Figura 18.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Sloanea guianensis* (Elaeocarpaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 42,9%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 56,7%).

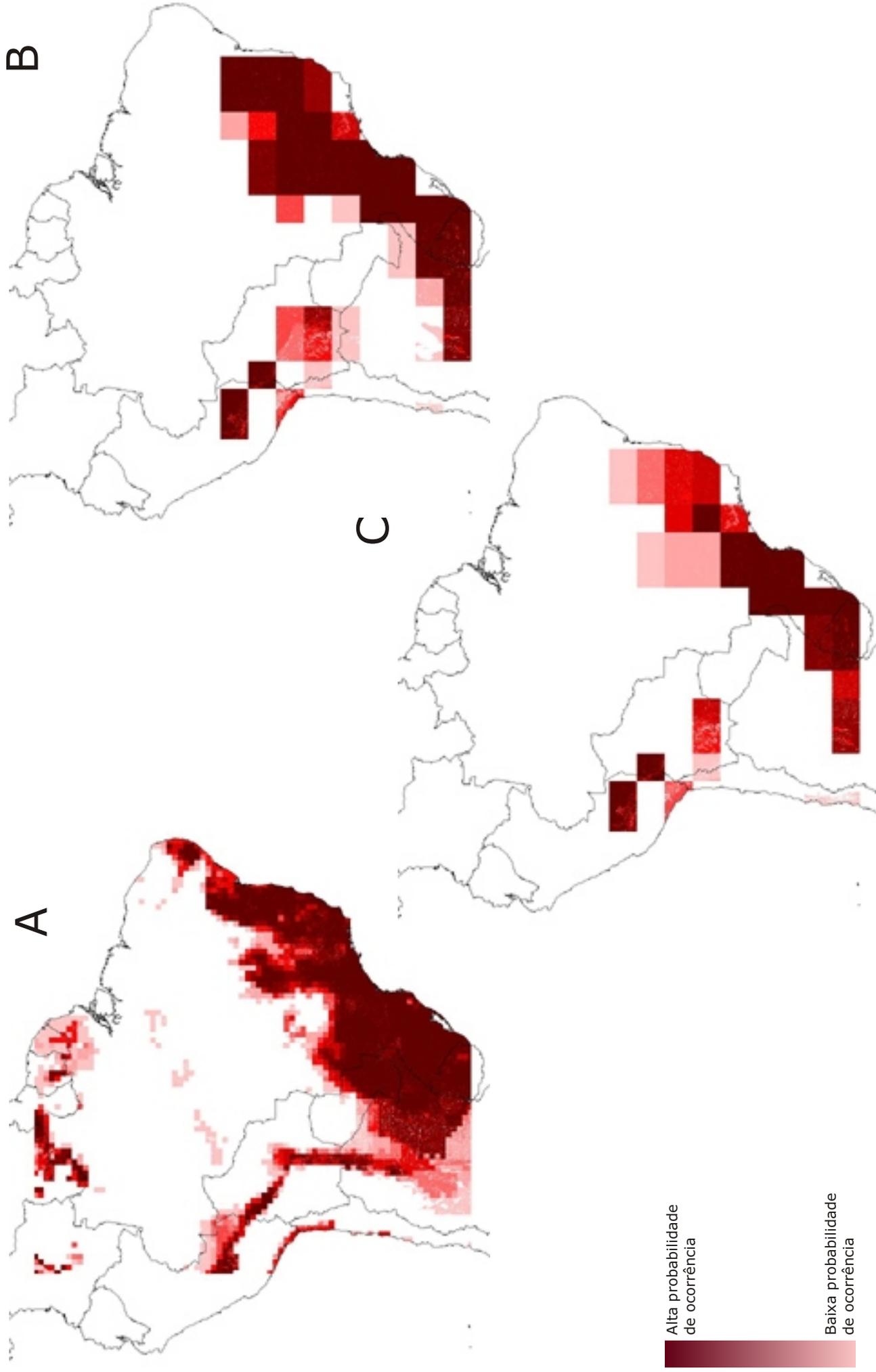


Figura 19. Mapa da área potencial de ocorrência de *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 27,6%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 43,6%).

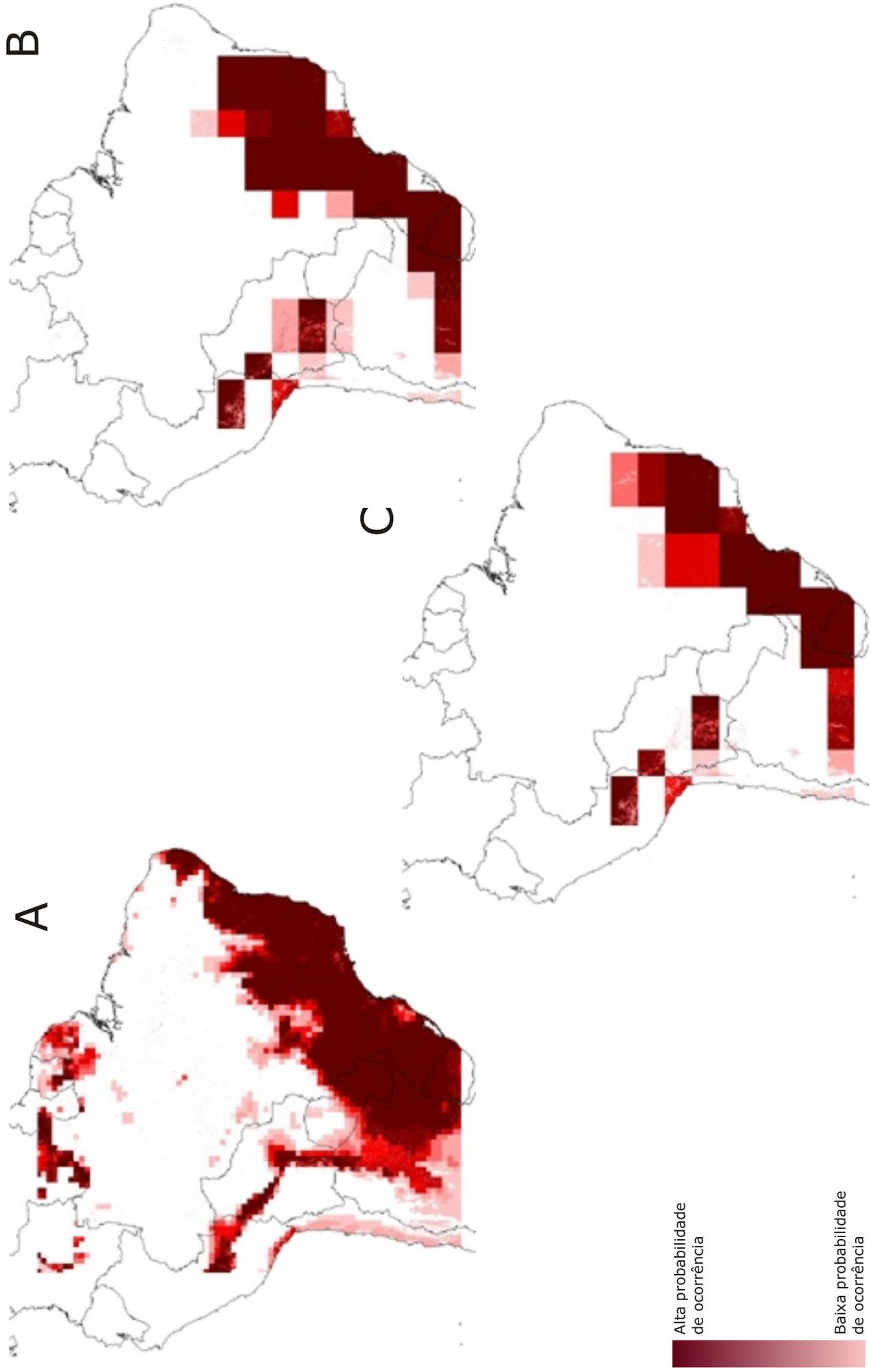


Figura 20. Mapa da área potencial de ocorrência de *Pera glabrata* (Euphorbiaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 36,2%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 48,4%).

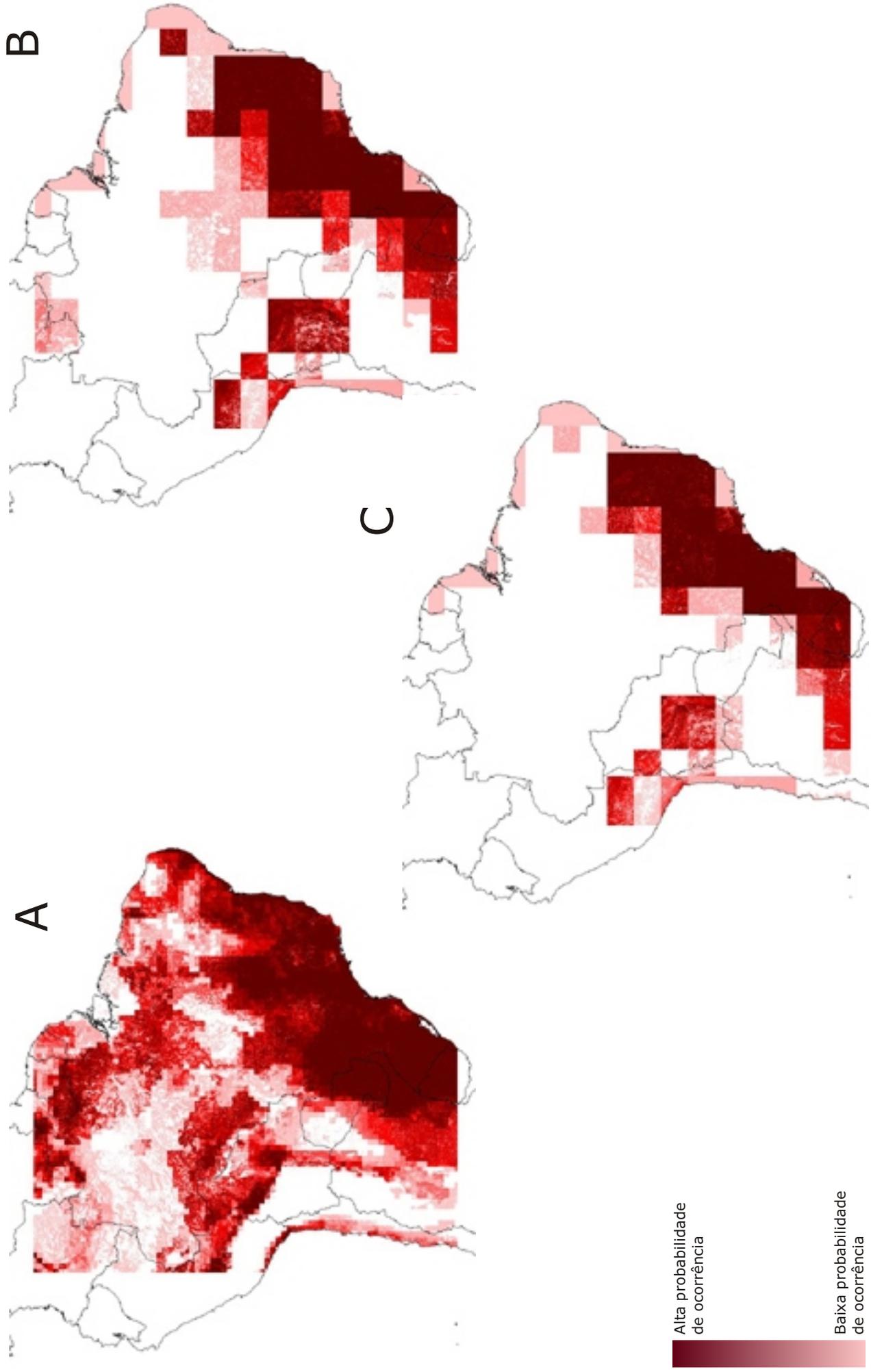
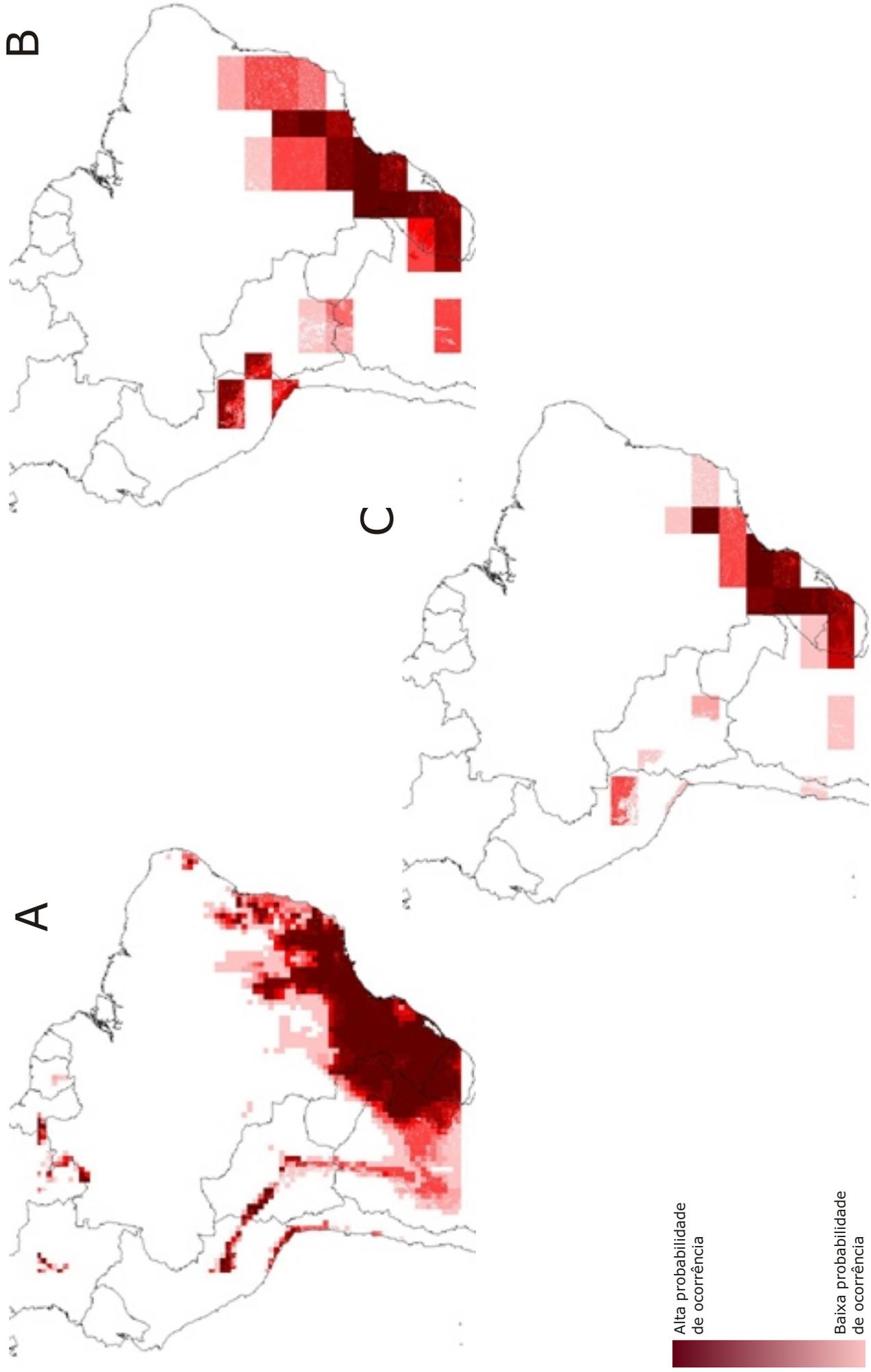


Figura 21. Mapa da área potencial de ocorrência de *Aniba firmula* (Lauraceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 42,9%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 56%).



51 **Figura 22.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Nectandra oppositifolia* (Lauraceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 26,3%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 56,9%).

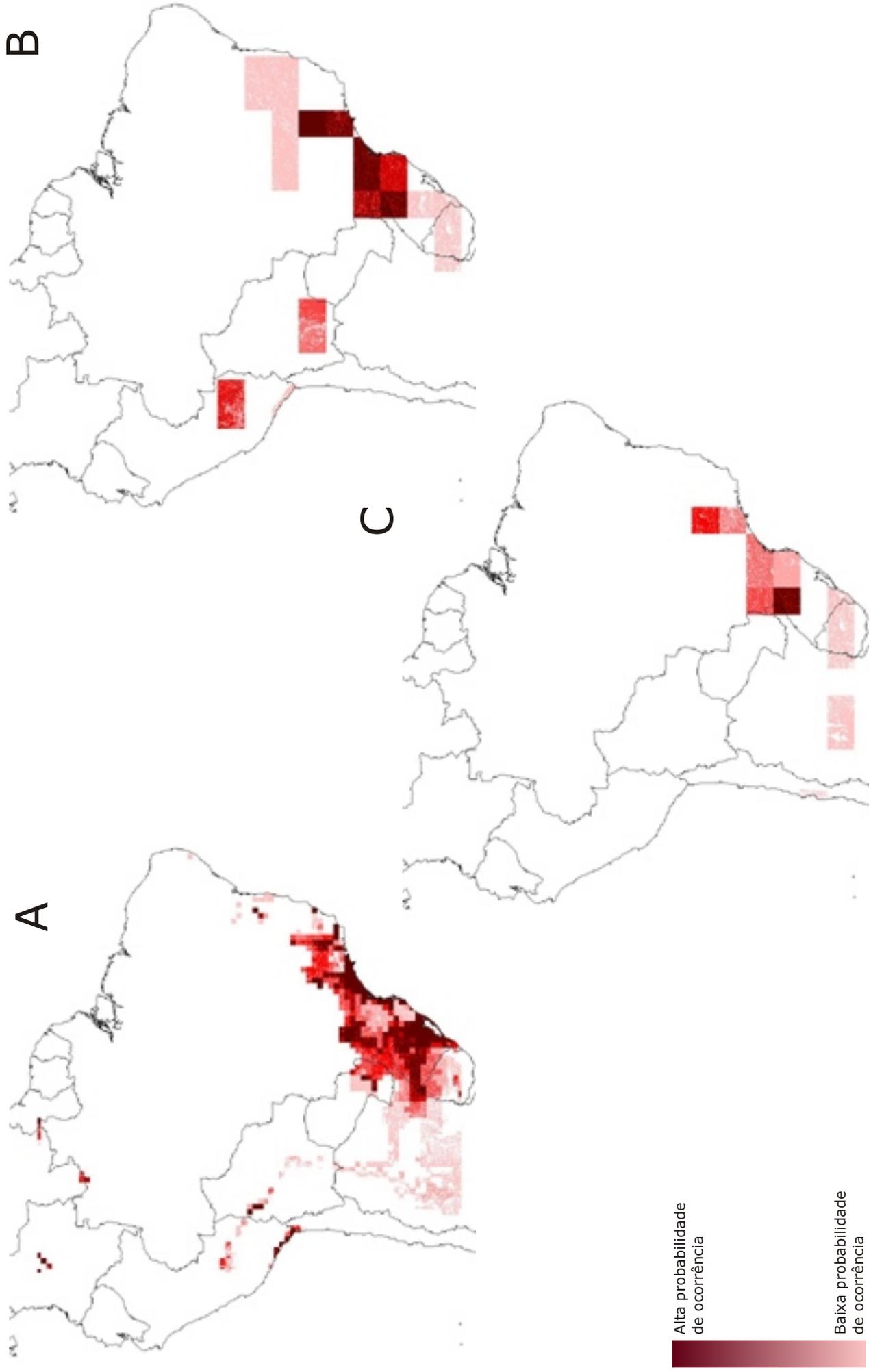


Figura 23. Mapa da área potencial de ocorrência de *Ocotea dispersa* (Lauraceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 1,1,4%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 53,8%).

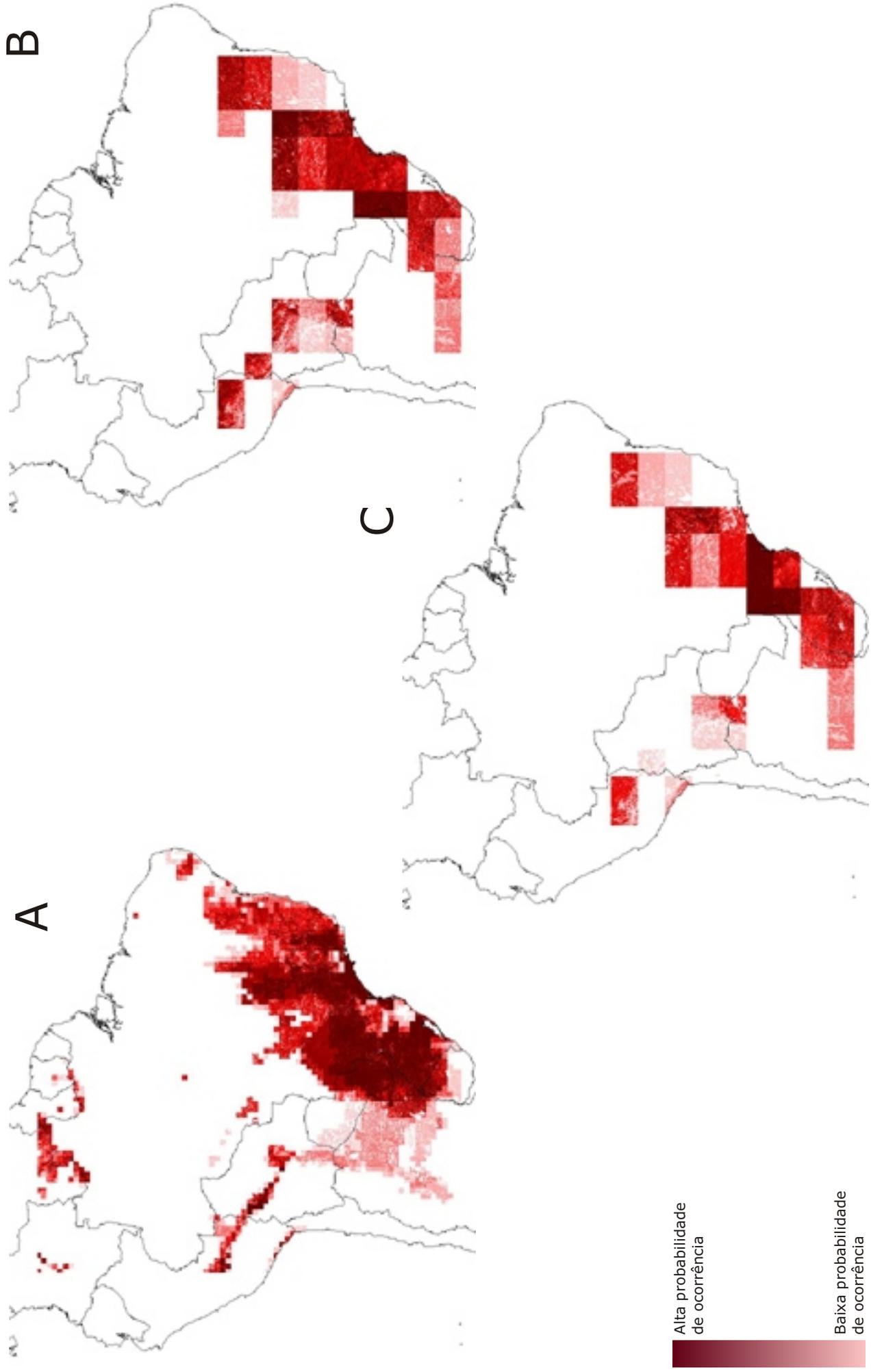
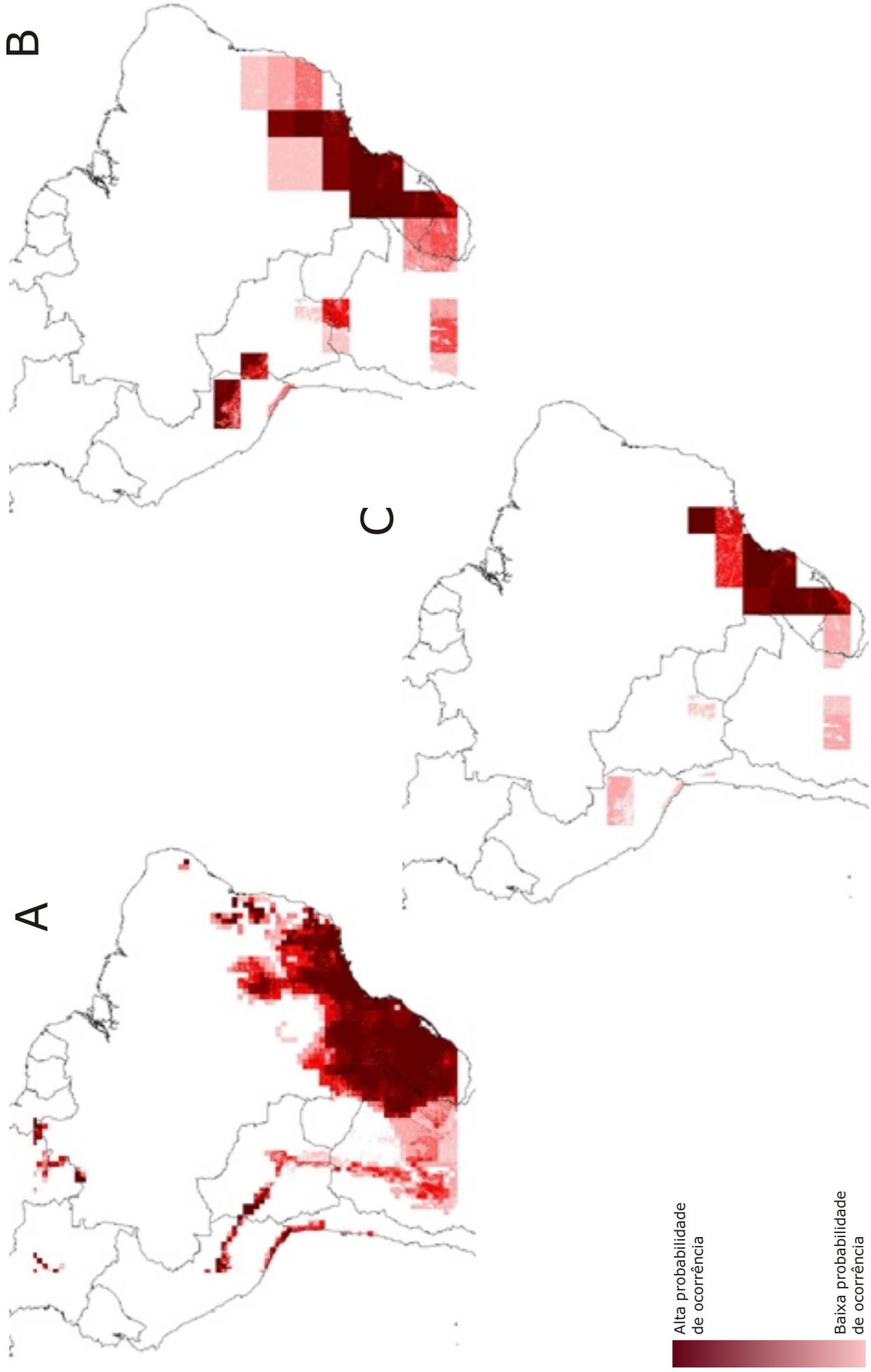
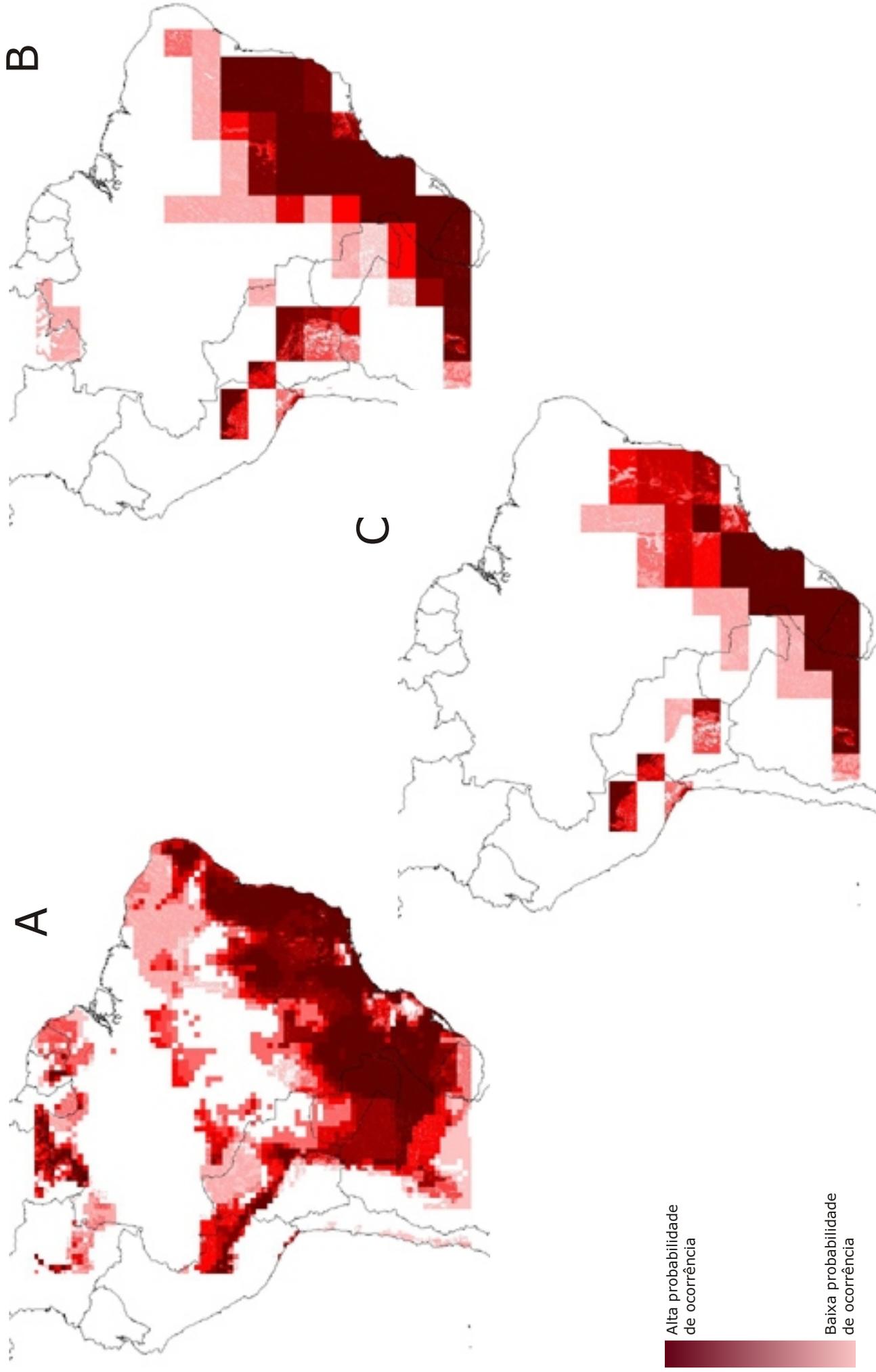


Figura 24. Mapa da área potencial de ocorrência de *Sclerolobium denudatum* (Leg. Caesalpinioideae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HGGDX50, redução de 27,6%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HGGGX50, redução de 38,2%).



5 **Figura 25.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Inga sessilis* (Leg. Mimosoideae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 24,8%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 63,1%).



51 **Figura 26.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Andira fraximifolia* (Leg. Papilionoideae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGAX50, redução de 32,5%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGDX50, redução de 50,6%).

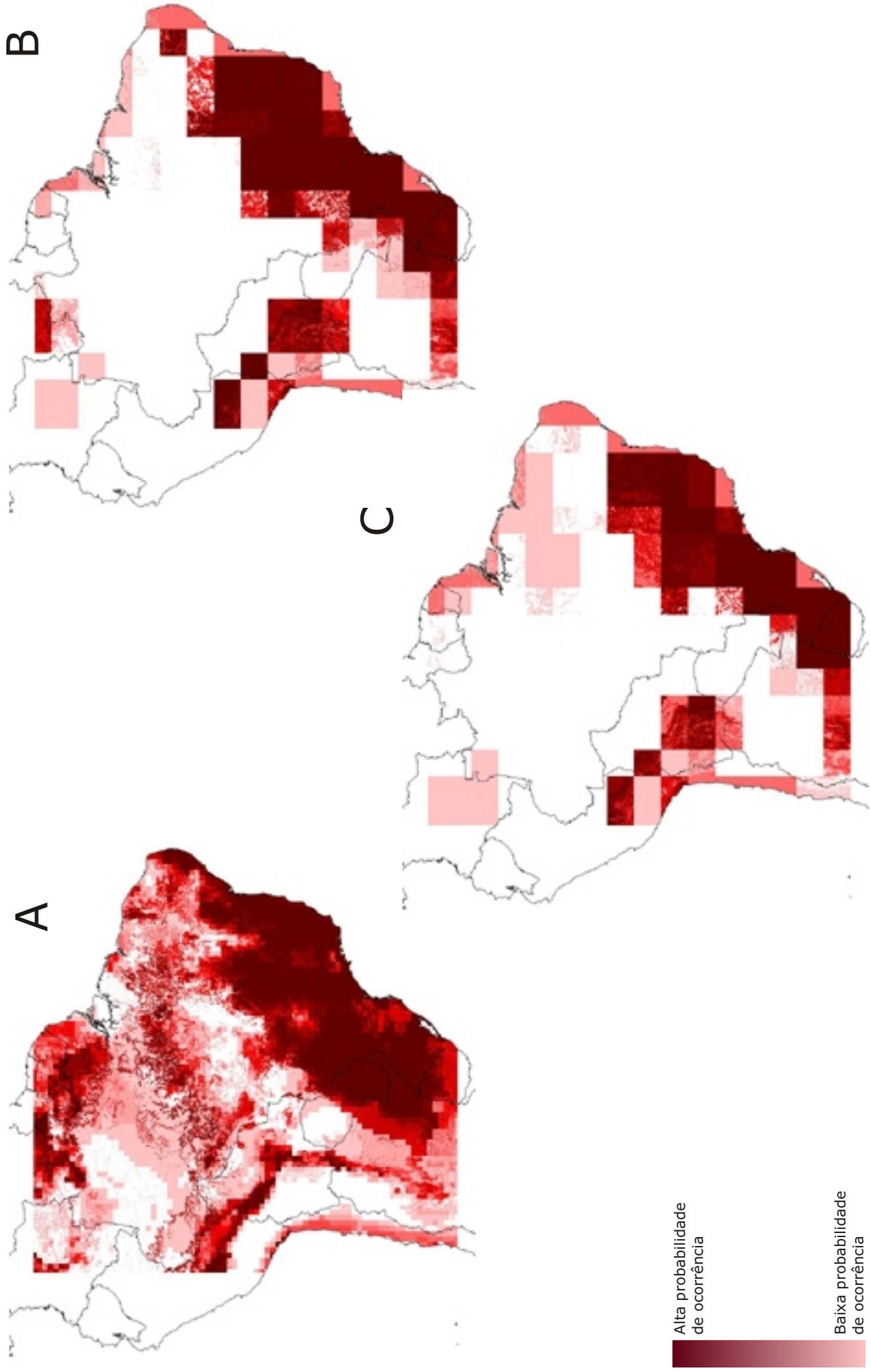
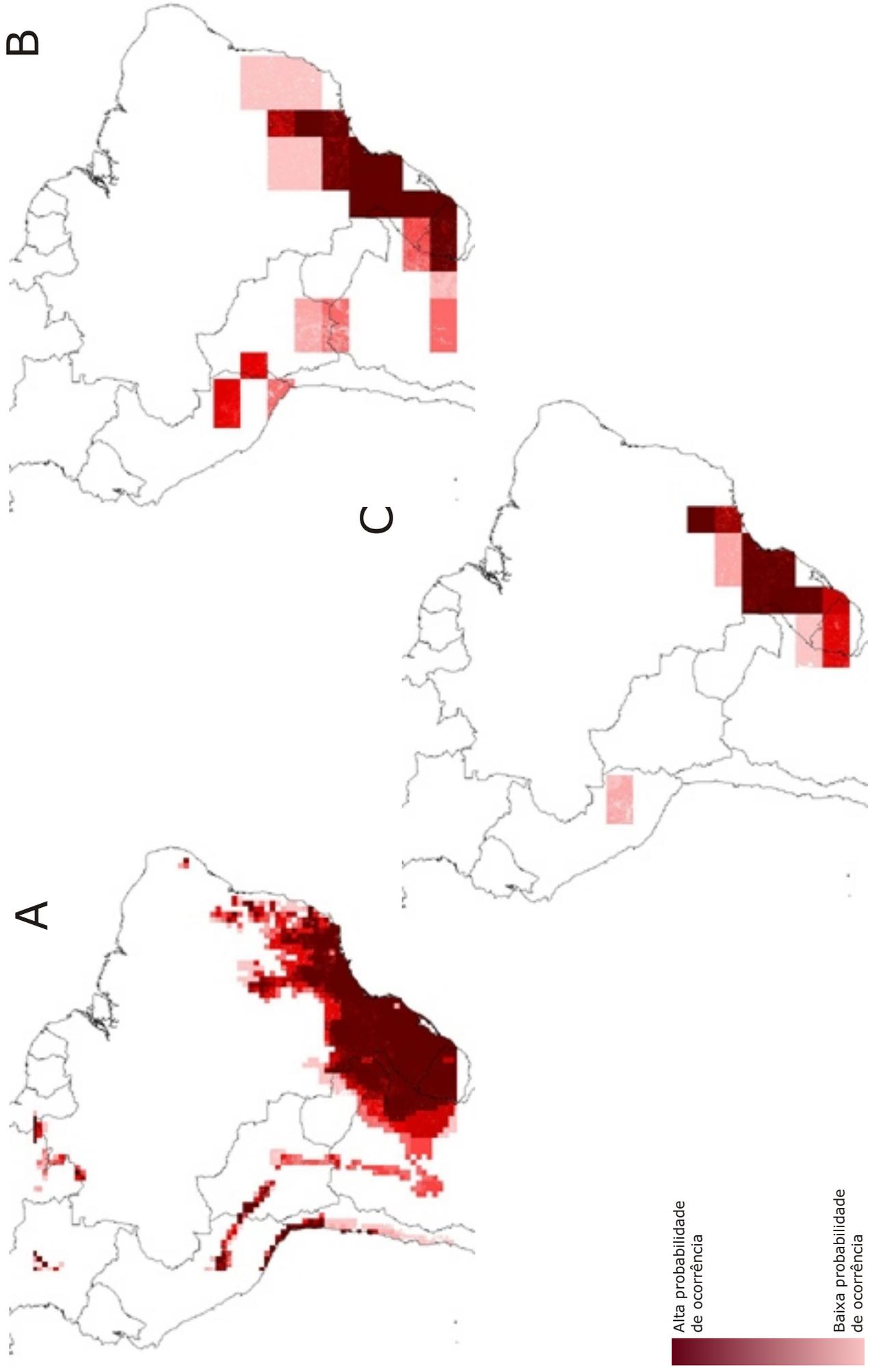


Figura 27. Mapa da área potencial de ocorrência de *Guarea macrophylla* (Meliaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HGGDX50, redução de 43,3%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HGGAX50, redução de 44,2%).



57 **Figura 28.** Mapa da área potencial de ocorrência de *Mollinedia schottiana* (Monimiaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 12,5%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 59,9%).

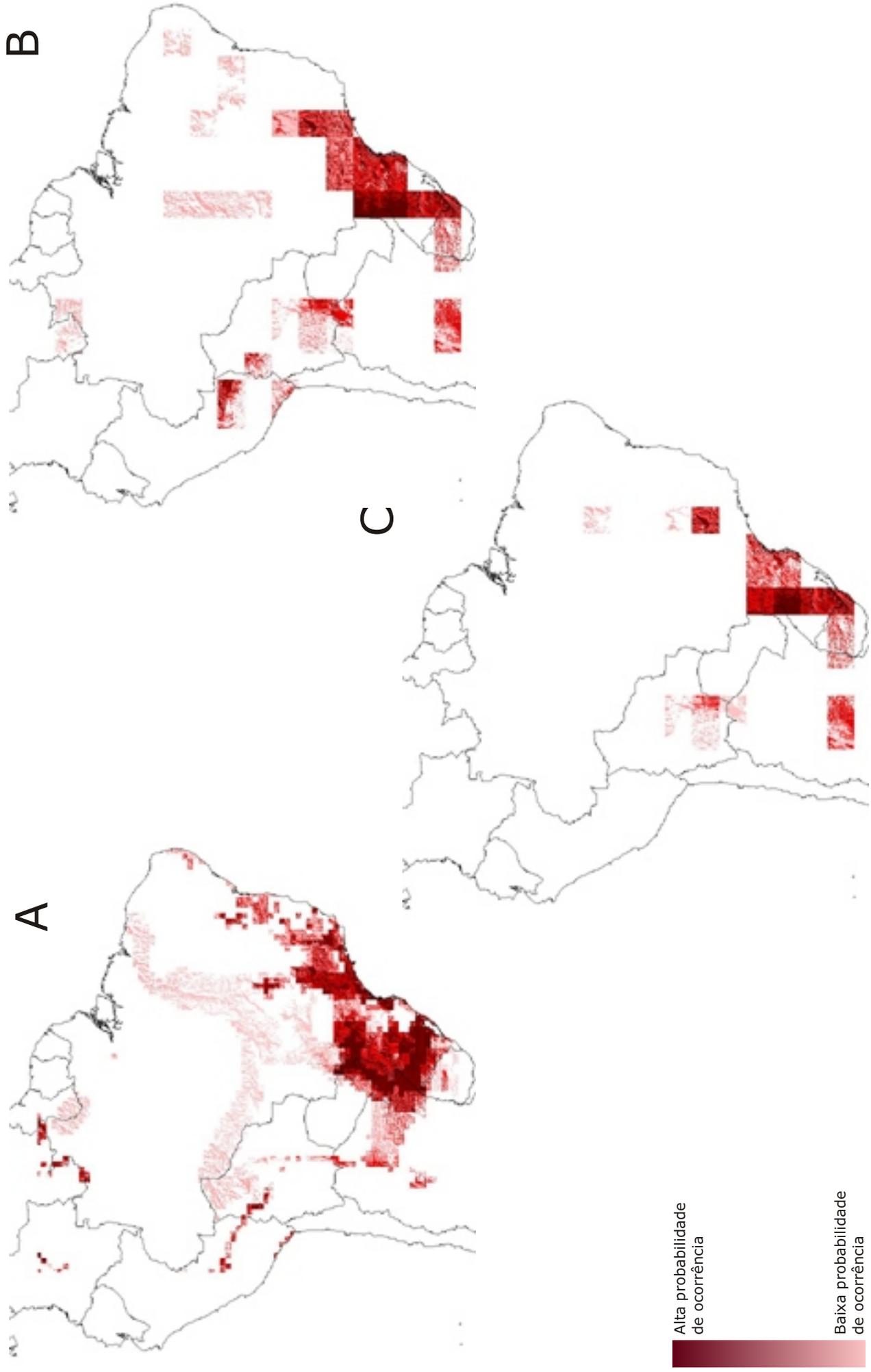


Figura 29. Mapa da área potencial de ocorrência de *Virola bicuhyba* (Myristicaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 30,1%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HGGAX50, redução de 61,4%).

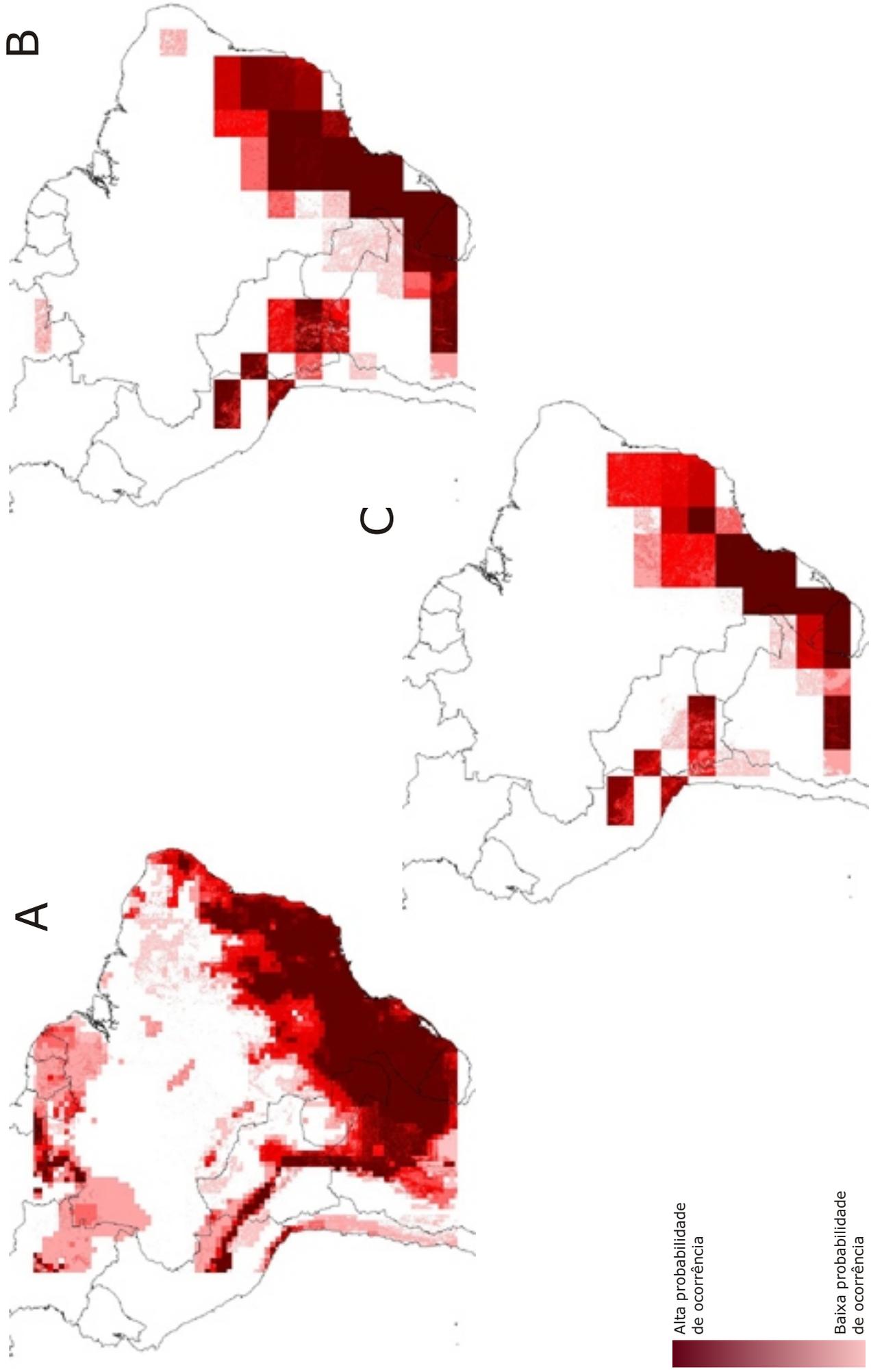


Figura 30. Mapa da área potencial de ocorrência de *Myrsine coriacea* (Myrsinaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 44,8%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 55,4%).

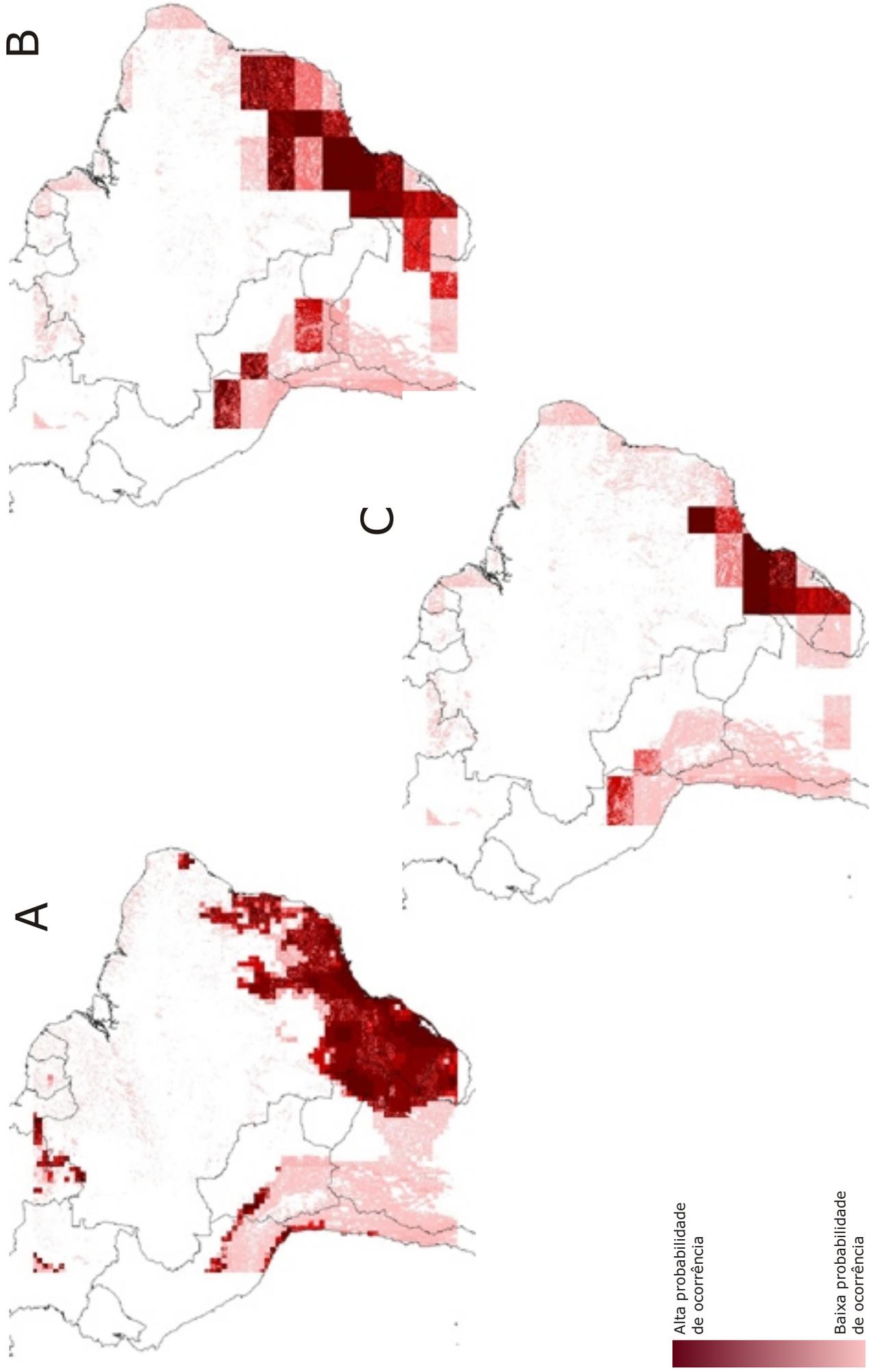


Figura 31. Mapa da área potencial de ocorrência de *Calyptrotrichos grandifolia* (Myrtaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 4,8%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 29,4%).

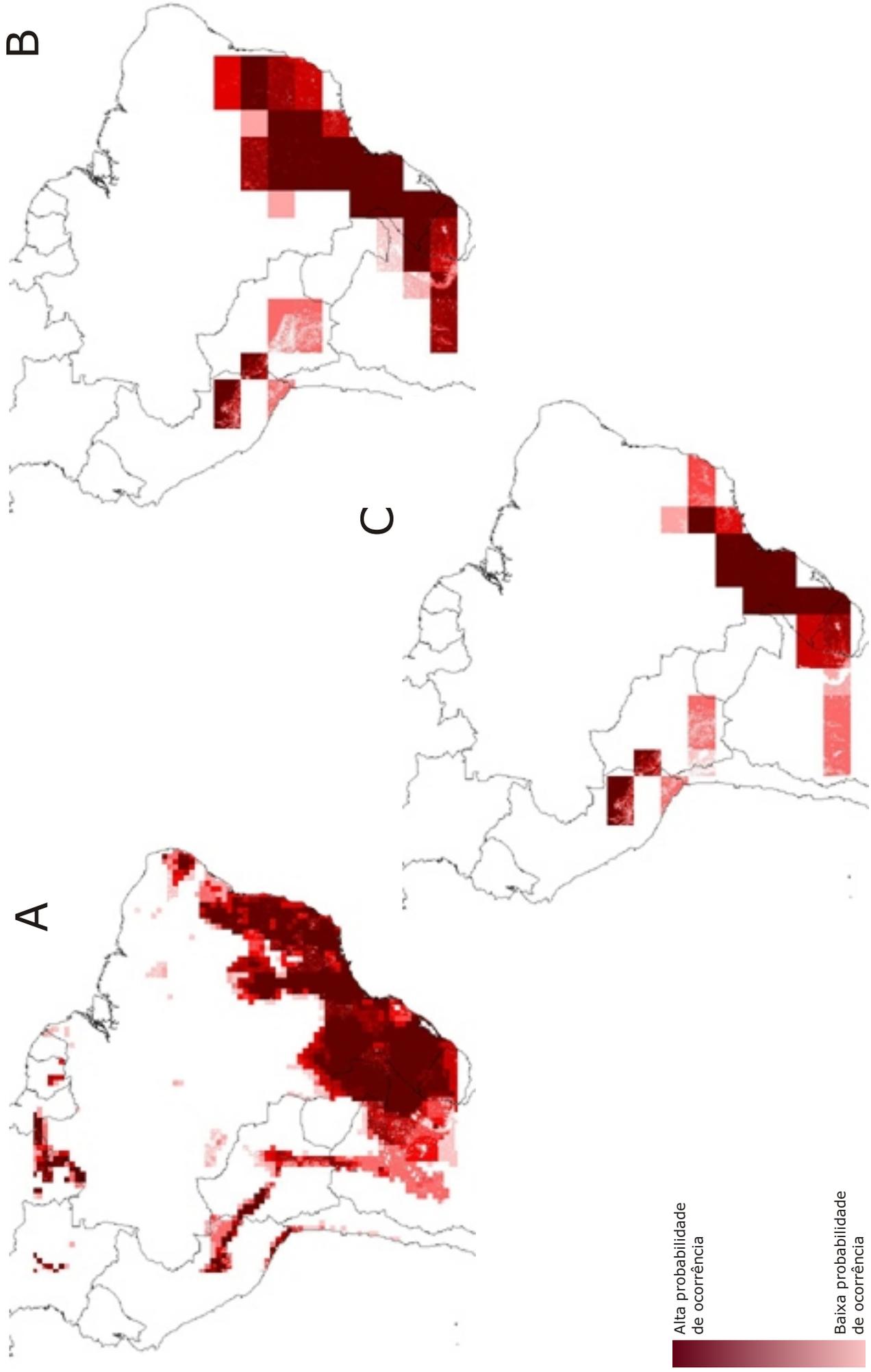


Figura 32. Mapa da área potencial de ocorrência de *Eugenia cerasiflora* (Myrtaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 20,9%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 51,2%).

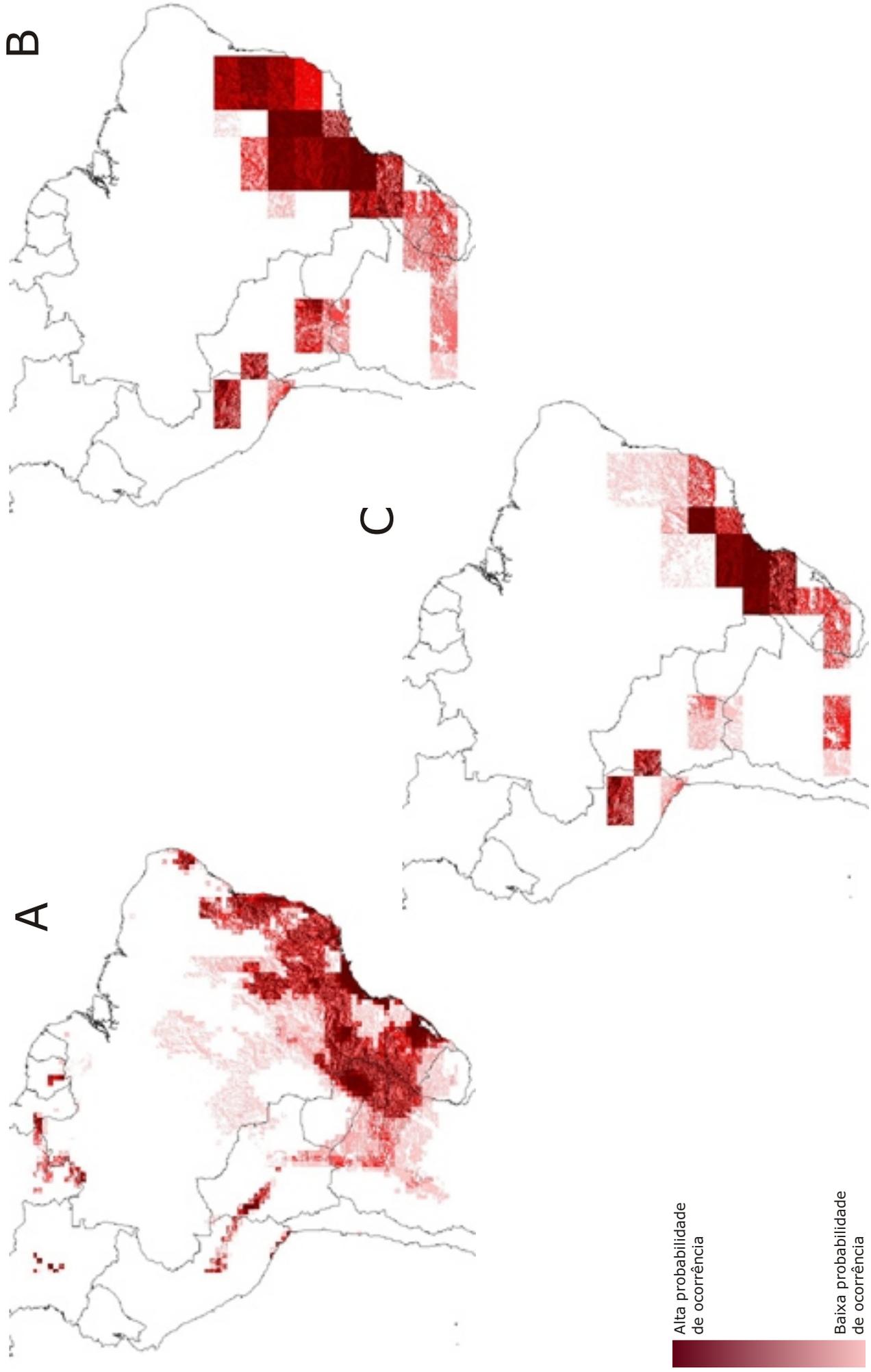


Figura 33. Mapa da área potencial de ocorrência de *Eugenia oblongata* (Myrtaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 18,1%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 45,9%).

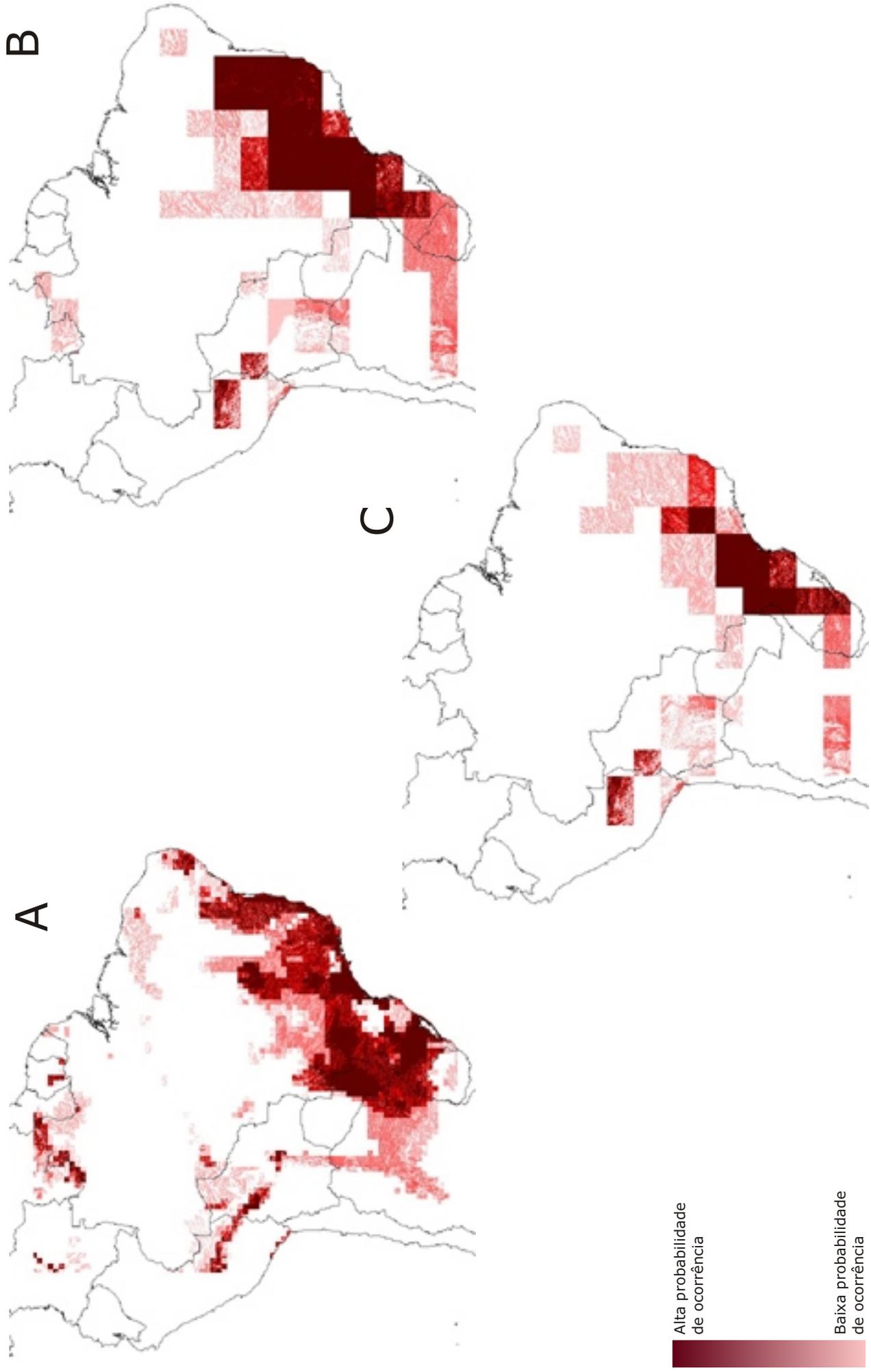


Figura 34. Mapa da área potencial de ocorrência de *Marlierea obscura* (Myrtaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 10,6%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 38,9%).

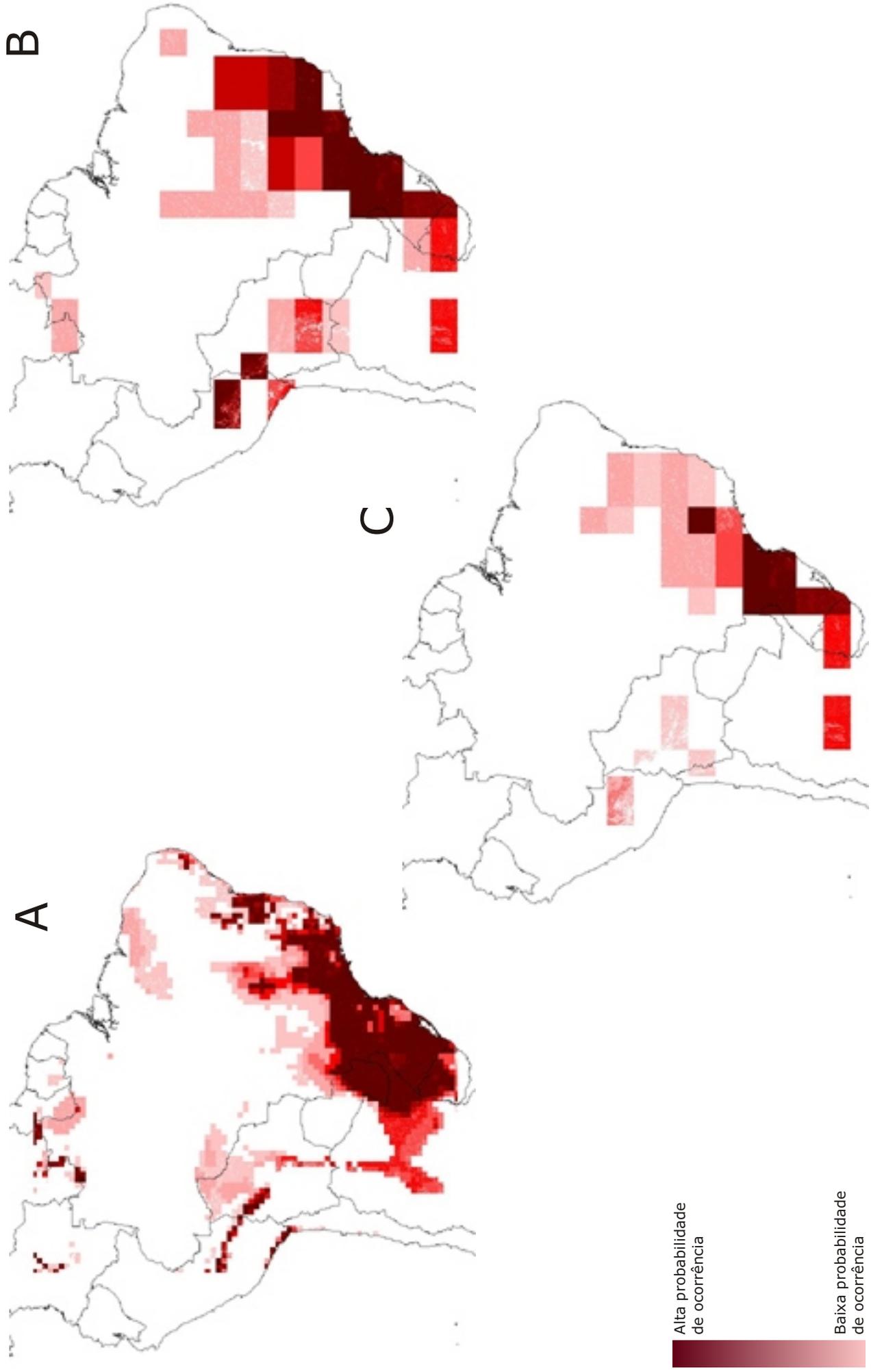


Figura 35. Mapa da área potencial de ocorrência de *Marlierea tomentosa* (Myrtaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 4,5%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 38,6%).

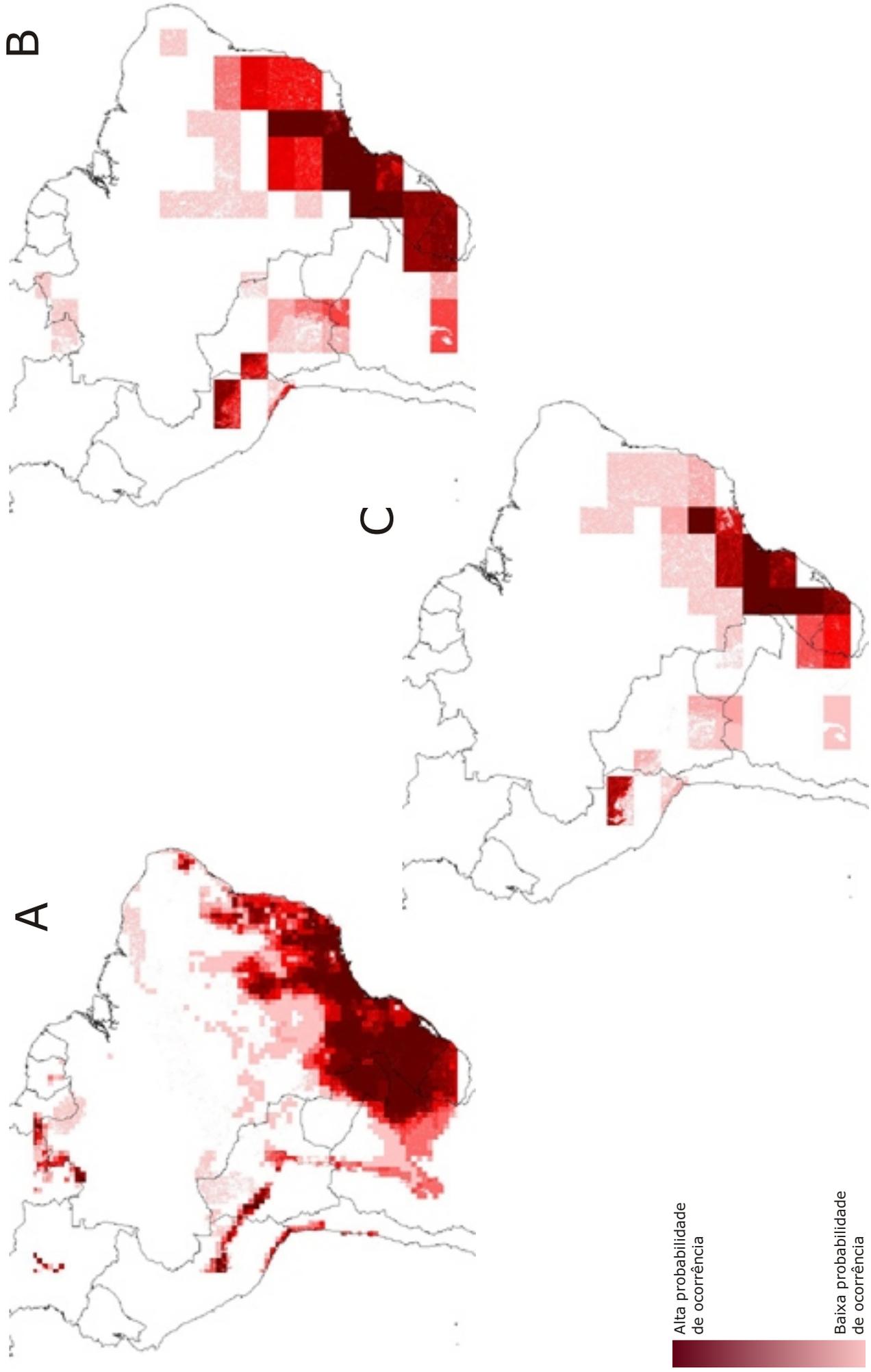


Figura 36. Mapa da área potencial de ocorrência de *Myrcia pubipetala* (Myrtaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 19,5%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 38,5%).

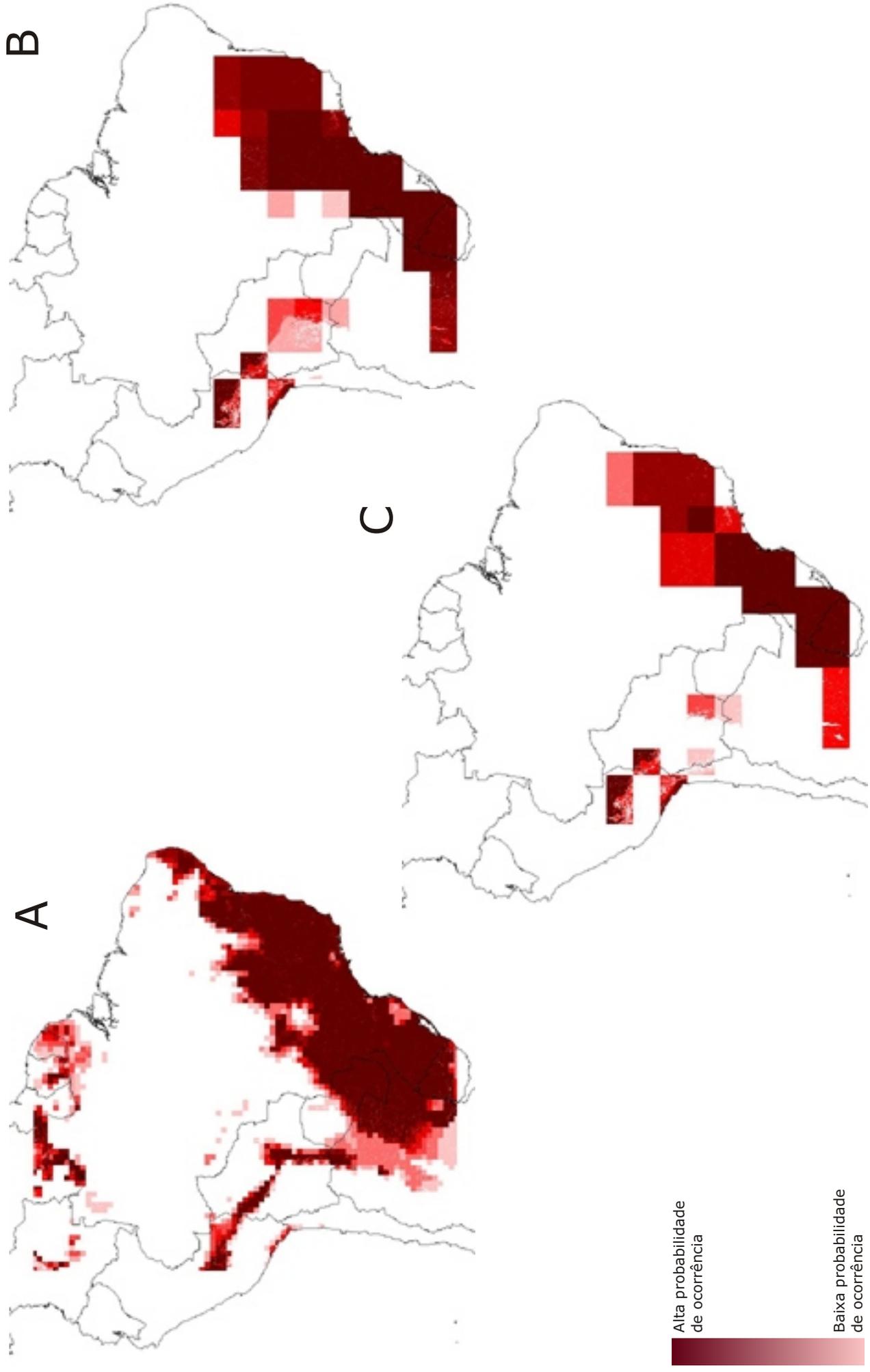


Figura 37. Mapa da área potencial de ocorrência de *Guapira opposita* (Nyctaginaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 35%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 47,2%).

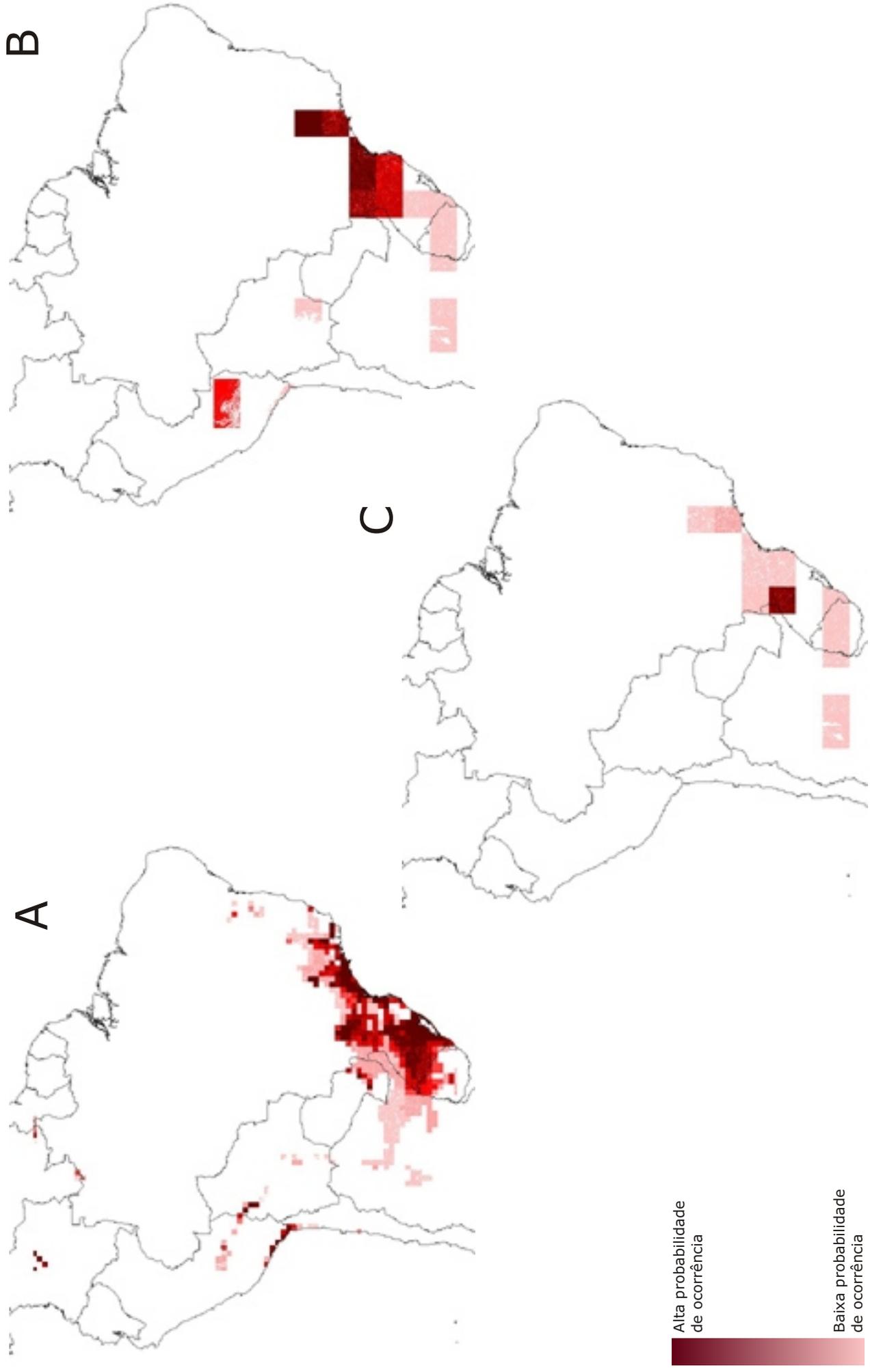


Figura 38. Mapa da área potencial de ocorrência de *Heisteria silvianii* (Olacaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HGGDX50, redução de 26,1%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HGGAX50, redução de 46,1%).

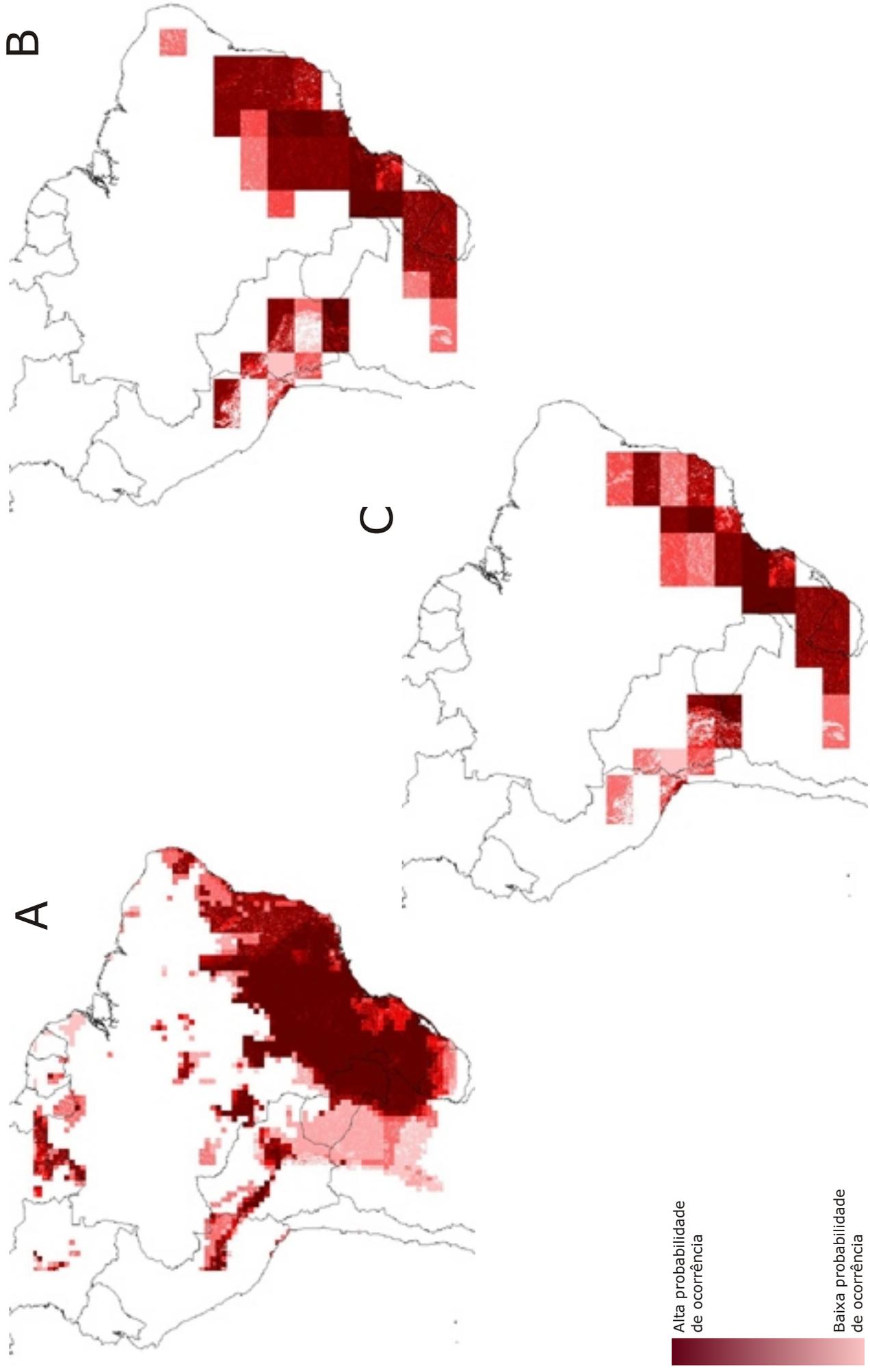


Figura 39. Mapa da área potencial de ocorrência de *Hyeronima alchorneoides* (Phyllanthaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 32,6%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 45,2%).

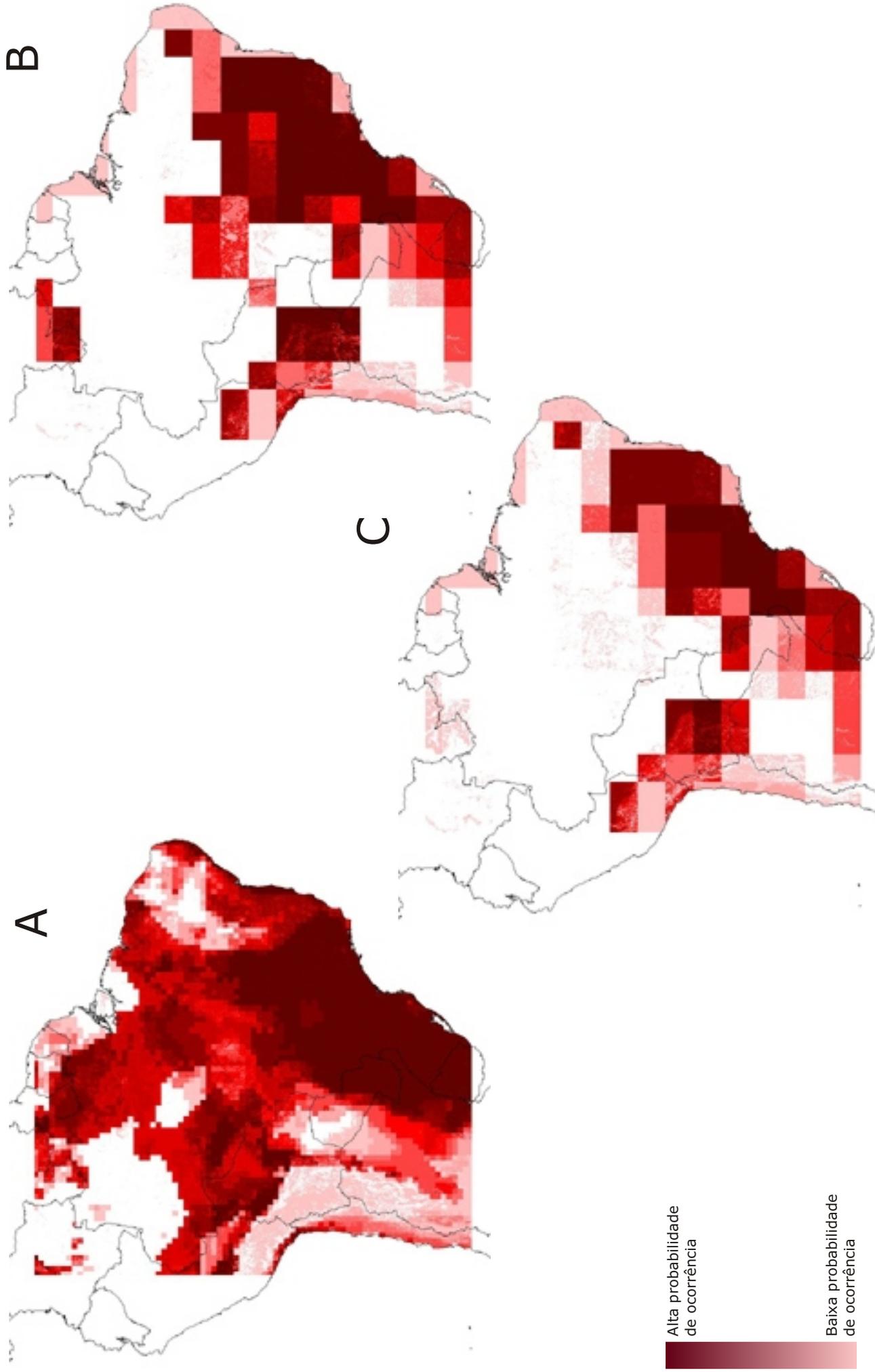


Figura 40. Mapa da área potencial de ocorrência de *Amaioua guianensis* (Rubiaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 39,2%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50, redução de 46,8).

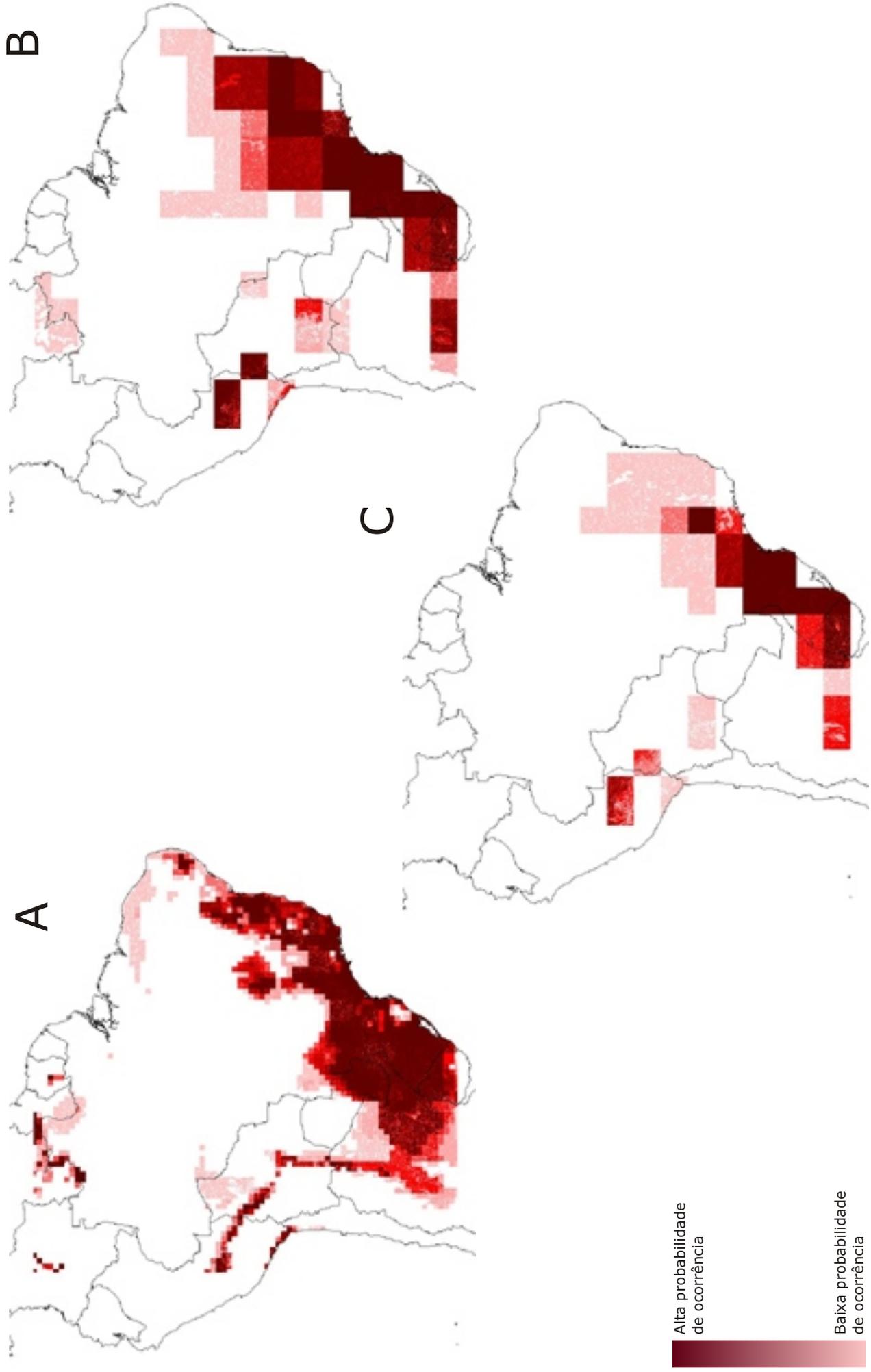


Figura 41. Mapa da área potencial de ocorrência de *Cupania oblongifolia* (Sapindaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 1,7%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 57,9%).

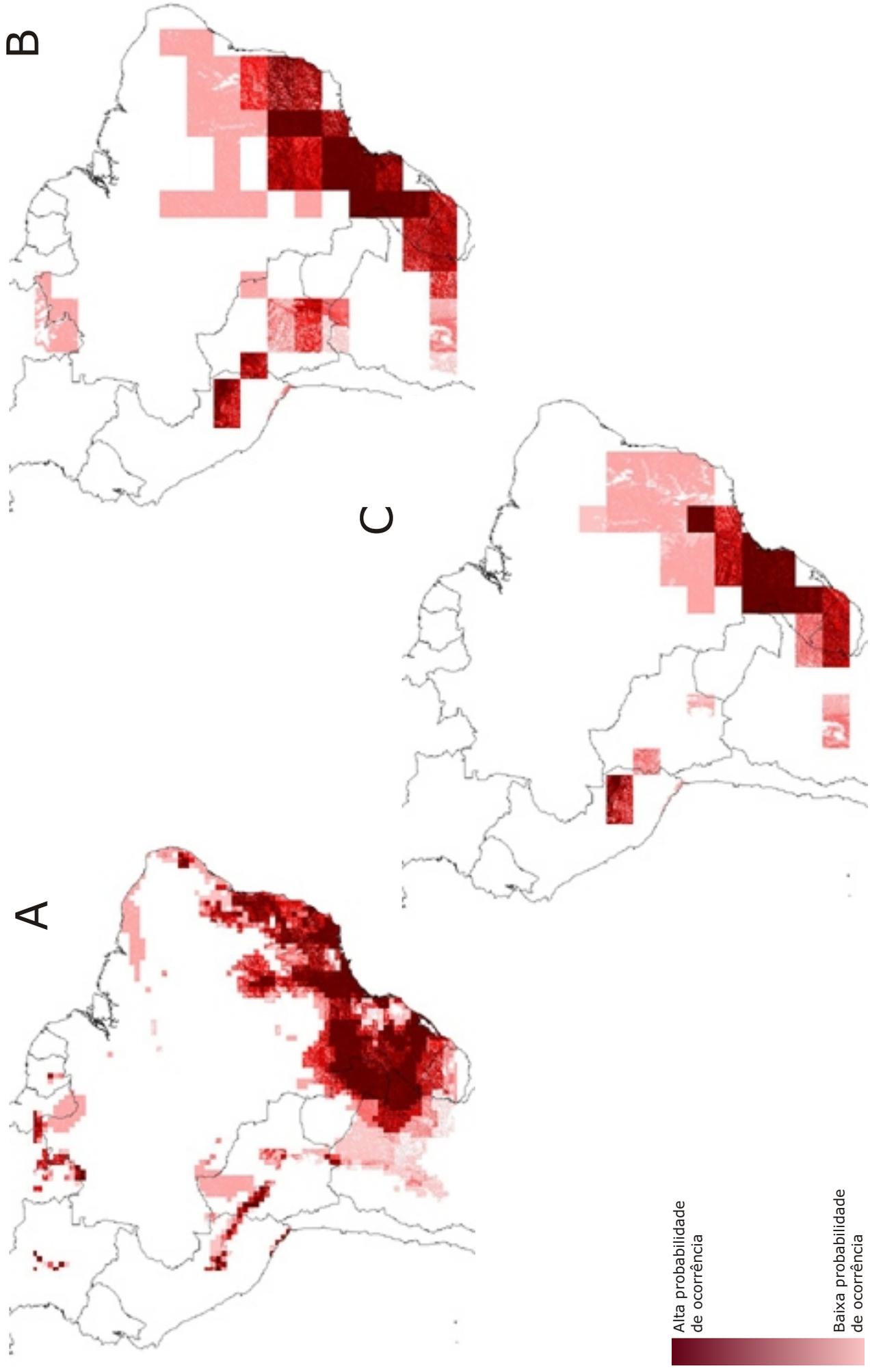


Figura 42. Mapa da área potencial de ocorrência de *Chrysophyllum flexuosum* (Sapotaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, aumento de 8,9%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 31,2%).

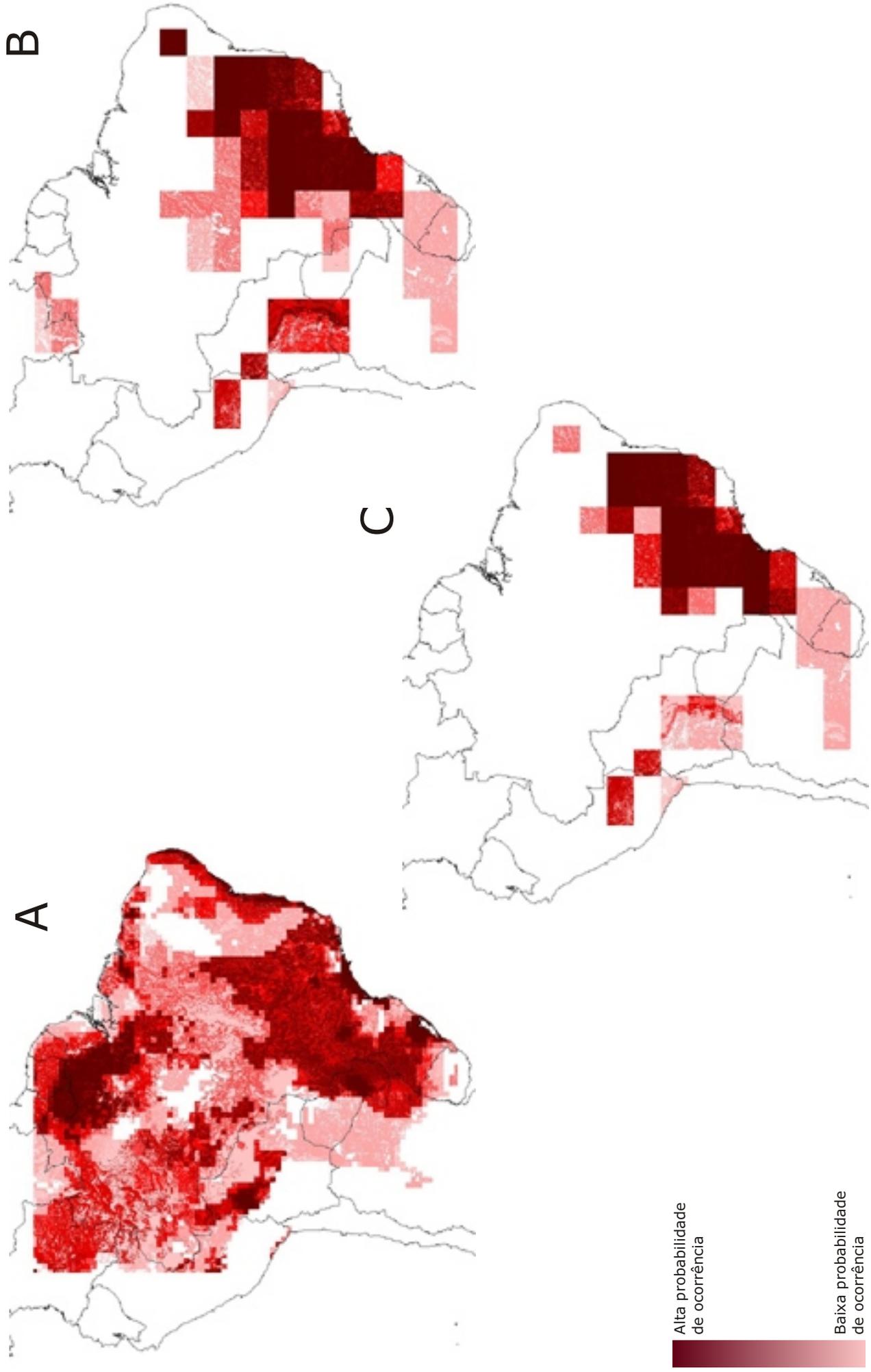


Figura 43. Mapa da área potencial de ocorrência de *Ecllinusa ramiflora* (Sapotaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 54,7%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGSDX50, redução de 67,3%).

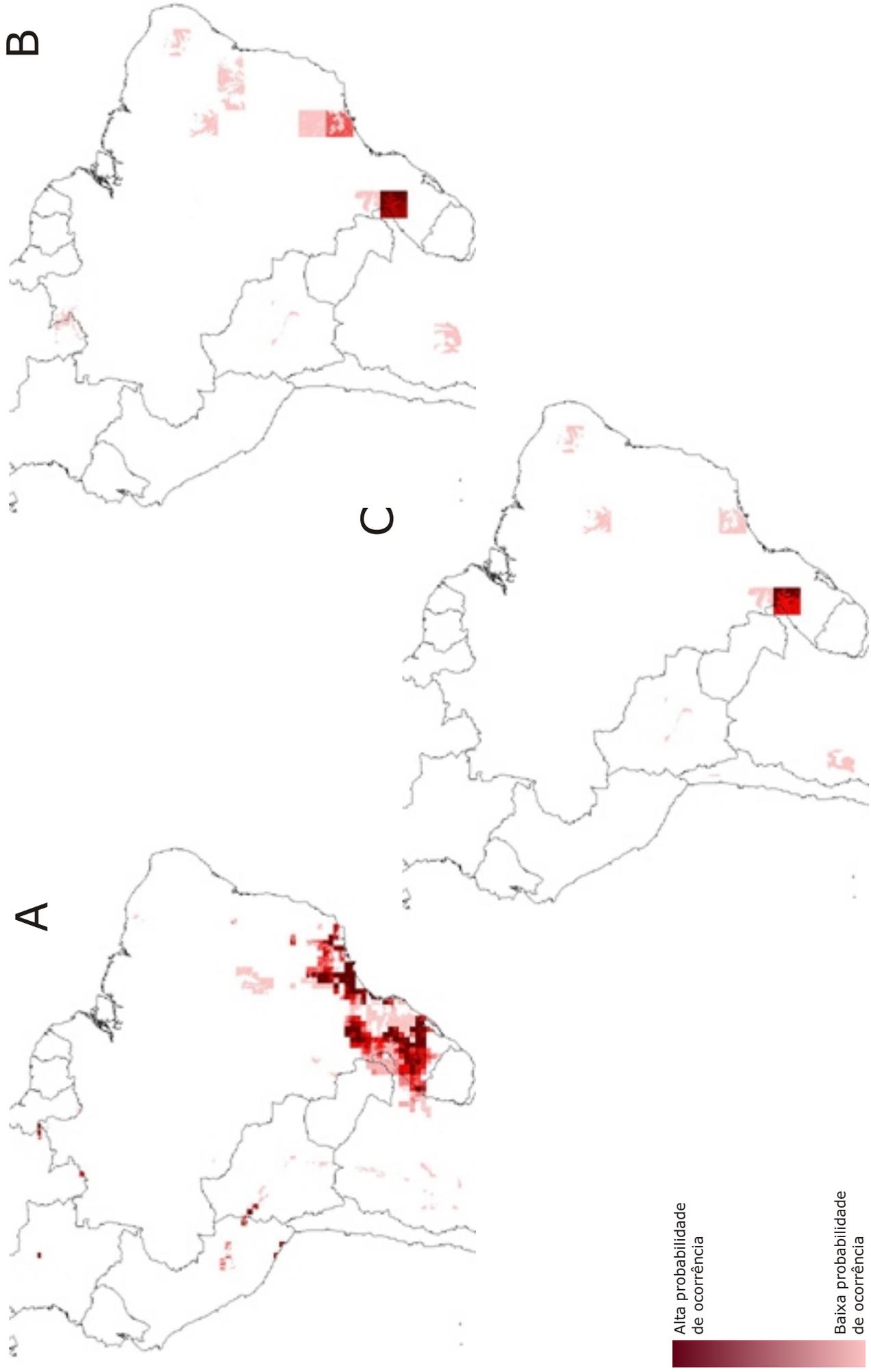


Figura 44. Mapa da área potencial de ocorrência de *Vochysia magnifica* (Vochysiaceae). A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50, redução de 51,9%); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGGAX50, redução de 72,9%).

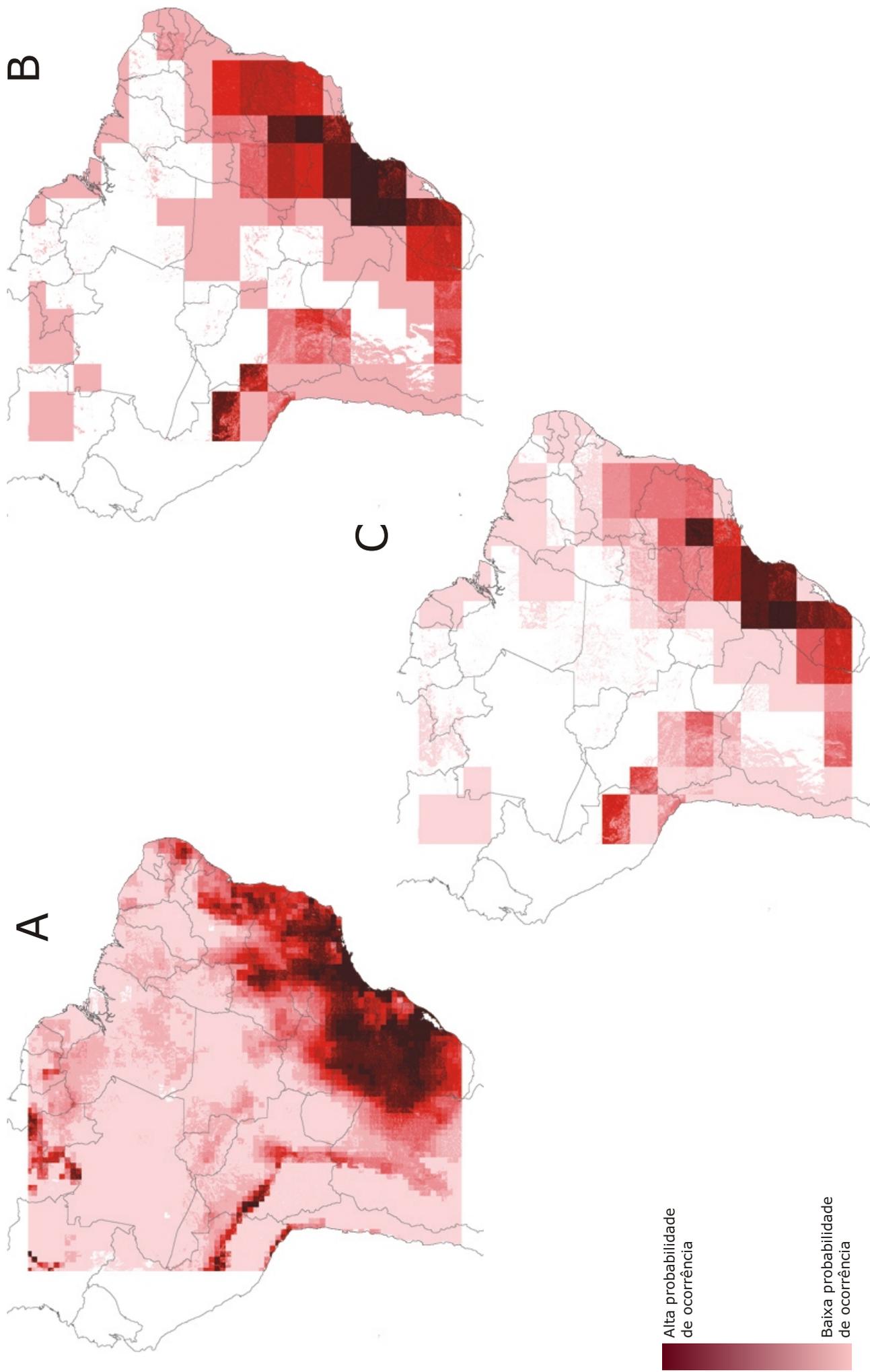


Figura 45. Mapa da soma das áreas de potencial distribuição de todas as espécies estudadas em cada cenário. A) distribuição atual; B) cenário otimista; C) cenário pessimista.

Discussão

Podemos dividir os resultados em três grandes grupos: espécies que, influenciados pelas mudanças climáticas, sofrerão uma grande redução de área potencial de ocorrência; outro, no qual esta redução ocorre, mas é pequena; e por fim uma espécie que aumenta sua área potencial frente às mudanças climáticas.

Como exemplos das espécies altamente afetadas pelas mudanças climáticas temos duas espécies com cenários atuais extremamente diferentes: a espécie *Vochysia magnífica*, com uma área potencial atual mínima e a espécie *Ecclinusa ramiflora*, que possui uma área potencial atual que cobre praticamente a totalidade da área estudada. Essas duas espécies possuem a maior porcentagem de redução de área em relação à área potencial ocupada por elas no cenário atual. *Vochysia magnífica* ocupa no cenário atual uma área de 734.500 km² (6,4% da área total estudada). No cenário pessimista essa espécie sofre a maior redução em seu potencial de ocupação, cerca de 72,8%. No cenário mais otimista *Vochysia magnífica* é a espécie que sofre a segunda maior redução (51,8%) perdendo apenas para *Ecclinusa ramiflora*. Já *Ecclinusa ramiflora* é uma espécie extremamente importante, pois ocupa a terceira maior área no cenário atual e possui a maior redução no cenário otimista (54,6%) e a segunda maior no cenário pessimista (72,8%).

Do grupo das espécies potencialmente menos ameaçadas temos, no cenário otimista, como exemplo *Cupania oblongifolia* e *Marlierea tomentosa*. *Cupania oblongifolia* possui uma área potencial atual de 3.522.900 km² (30,9% da área total estudada) e uma redução potencial que não causa preocupações, pois é de apenas 1,6%. *M. tomentosa* é outra espécie a sofrer pouco com as mudanças climáticas, reduzindo sua área em apenas 4,4%. Mesmo no cenário pessimista *Cupania oblongifolia* permanece na lista das espécies menos afetadas, com uma redução potencial de 34% na sua área de ocorrência.

Por fim temos a única espécie que apresenta um aumento da área potencial de ocorrência, *Chrysophyllum flexuosum* que, no cenário otimista, aumenta sua área de ocorrência potencial em 8,9%. Entretanto, com o agravamento das condições climáticas, no cenário pessimista, até mesmo esta espécie apresenta uma redução significativa na área de ocorrência potencial.

Utilizando a mesma metodologia apresentada neste trabalho, SIQUEIRA & PETERSON (2003) descreveram o comportamento de 162 espécies arbóreas do

Cerrado brasileiro. Seus resultados mostraram uma perda significativa, superior a 50%, na área potencial de ocupação das espécies endêmicas deste bioma. Noventa e uma espécies no cenário otimista, e 123 no cenário pessimista, apresentaram redução da área potencial de ocorrência superior a 90%. Mais significativo do que este alto percentual de redução é o fato de 18 espécies no cenário otimista e 56 no pessimista apresentarem propensão à extinção, uma vez que a área potencial prevista é nula. Cabe ressaltar ainda que, assim como no presente estudo, SIQUEIRA & PETERSON (2003) também mostraram um deslocamento de espécies para região Sul do país que, segundo os modelos do IPCC, deixaria de estar sujeita a geleadas e passaria a apresentar temperaturas favoráveis para o conjunto de espécies arbóreas estudadas.

O mesmo padrão foi observado para organismos tão distintos das árvores como borboletas (PETERSON et al. 2004) e o flebotomídeo *Lutzomyia whitmani*, vetor da leishmaniose cutânea (PETERSON & SHAW 2003). No caso das borboletas as 111 espécies estudadas tiveram suas áreas reduzidas significativamente, com porcentagens de redução variando de 87.1% a 93.3%, dependendo do cenário.

Alguns autores (THOMPSON & MEAD, 1982; WELLS, 1983; LYONS, 2003) exemplificam em seus trabalhos a movimentação direcional de algumas espécies para climas mais quentes. Essa direção preferencial por ambientes mais adequados à sobrevivência, ocorrida à cerca de 18.000 anos atrás na última grande glaciação, mostra que as espécies podem se deslocar de acordo com as mudanças climáticas. Utilizando técnicas de modelagem similares a deste estudo, MARTÍNEZ-MEYER et al. (2004) mostraram a direcionalidade da movimentação das espécies para locais mais quentes e mais frios de acordo com as características do ambiente. Esses resultados sugerem que, desde que a velocidade da mudança climática seja compatível com a velocidade dos processos evolutivos, esses deslocamentos podem resultar em especiação e/ou ocupação de novos habitats.

Limitações do processo de modelagem

Araujo & Guisan (2006), Chapman e colaboradores (2005), Smith (2002) e diversos autores estabeleceram várias limitações dos processos de modelagem computacional de distribuição de espécies e sobre a utilização desse processo sobre os estudos de mudanças climáticas. Antes de qualquer análise devemos estar cientes das limitações que a geração desses modelos tem sobre as aplicações práticas e políticas.

Das dezenas de limitações, por esses autores levantada, este estudo ressalta parte delas.

Uma das principais limitações da geração dos modelos é o próprio conceito de nicho ecológico, fundamental e realizado, utilizado por muitos autores nos trabalhos de modelagem preditiva. O nicho ecológico fundamental, isento de interações entre espécies diferentes, representa uma gama imensa de características ambientais, nas quais seria impossível contemplá-la em sua totalidade na geração dos modelos. Portanto, ao se trabalhar com poucas características ambientais, devemos ter em mente quantas limitações essas generalizações podem trazer a nossos modelos.

Já no nicho ecológico realizado, as espécies são intrinsecamente afetadas também pelas interações entre as espécies. Essas interações ecológicas com outras espécies, vegetais, animais ou de microrganismos, não foram consideradas, e poderiam levar a superestimar ou subestimar as áreas de potencial ocorrência. Isso quer dizer que espécies extremamente dependentes de outras espécies, vivendo em simbiose ou parasitismo, ou que necessitem de suporte físico para seu crescimento, ou ainda que sejam tipicamente de sub-bosque, podem ter suas áreas potenciais de ocorrência ainda mais alteradas do que as previsões ora feitas. A distribuição de dispersores, polinizadores e consumidores são outros elementos a se considerar. Para minimizar os efeitos destas distorções seria necessário modelar as conseqüências do aquecimento global individualmente para cada uma das espécies envolvidas nestas interações, e através da sobreposição das respectivas distribuições minimizar os erros de superestimativas e subestimativas.

Outra limitação extremamente importante é a resolução dos mapas utilizados. Devido a grande falta de informações meteorológicas detalhadas dos países da América de Sul, em especial do Brasil (SENTELHAS et al. 2000), a qualidade dos mapas utilizados é deficitária, acarretando em informações climáticas muito abrangentes e generalistas (escala de 50km x 50km). Geralmente os efeitos destas generalizações é a superestimativa das áreas de ocorrências das espécies, o que dificulta a análise e reduz a precisão dos modelos. Em nosso estudo a utilização de mapas em diferentes escalas, acarretaram uma ponderação maior na topografia. Quando se utiliza escalas diferentes, no caso deste estudo 1km x 1km para topografia (reamostrados para 5km x 5km) e para os dados ambientais 50km x 50km, os resultados são fortemente ponderados para a escala de maior tamanho, no caso a topografia. Isso favorece a criação de regras mais refinadas para os parâmetros mais

detalhados, excluídas ou incluídas áreas nos mapas para os cenários futuros em escalas muito menores do que a utilizada para os atributos do clima.

Outra limitação prejudicial para o trabalho de modelagem preditiva de espécies é o pouco conhecimento da ecofisiologia das espécies e a falta de informações geográficas das mesmas. Além disso esse problema pode ser agravado pela má qualidade dos dados coletados em campo, como erros nas localidades de coleta e/ou de identificação das espécies ou a proximidade das mesmas junto às estradas, pólos urbanos e industriais (exemplo NELSON et al. 1990). Nesse estudo esse erro foi minimizado com a exclusão de dados dúbios e a sistematização da nomenclatura taxonômica utilizada (OLIVEIRA 2001) e um maior número de ocorrência de cada conjunto de espécies.

Em áreas que possuem grandes variações de altitude em pequenos trechos, como é o caso de parte da Mata Atlântica, temos grandes problemas na criação dos mapas de distribuição potencial quando reamostramos as escalas dos mapas para uma escala maior. Na Serra do Mar, por exemplo, em uma distância de poucos quilômetros a altitude pode variar de 100 a 1.200 metros, e esta informação é perdida em um grid de 5 km x 5km. Assim como esse efeito ocorre quando se trata de parâmetros climáticos como umidade e temperatura, pois como exemplo, os efeitos orográficos e de variação de temperatura devido à altitude são perdidos e generalizados quando as escalas são muito grandes, como no caso desse estudo. Considerando que variações em altitude estão intrinsecamente associadas a variações em temperatura, que por sua vez afeta a composição florística das florestas, como foi demonstrado por (SALIS et al. 1995).

Da soma dos mapas de todas as espécies em cada cenário, temos três mapas para o componente arbóreo do bioma Mata Atlântica (Figura 46). Para as áreas consideradas prioritárias resultantes deste estudo, selecionamos as áreas com a probabilidade de ocorrência de todas as espécies no qual fosse superior a 80%. Considerando a distribuição atual, temos sete áreas nas quais há uma grande probabilidade da ocorrência concomitante das 38 espécies estudadas: o norte do Estado do Rio Grande do Sul; o extremo oeste e o litoral norte de Santa Catarina; o centro e o noroeste do estado do Paraná; a totalidade do litoral do estado de São Paulo; o noroeste da mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais; o sudeste da mesorregião da Zona da Mata do estado de Minas Gerais; a parte da região central do estado do Rio de Janeiro e por fim a mesorregião central do estado do Espírito Santo, onde se localiza a capital Vitória.

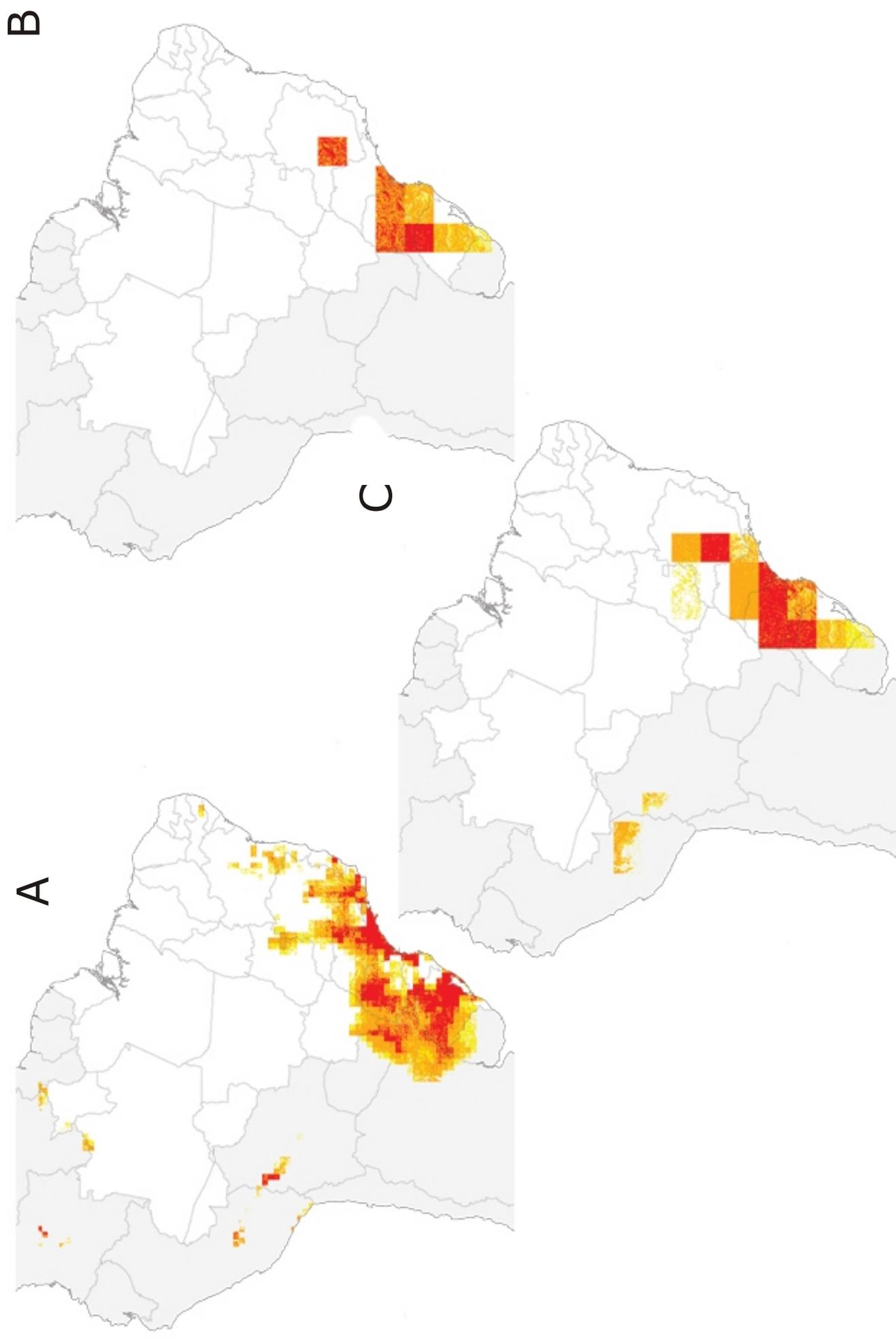


Figura 46. Mapa das áreas prioritárias para a conservação. A) distribuição atual; B) cenário otimista (aumento menor ou igual a 2°C Hadley HHGSDX50); C) cenário pessimista (aumento menor ou igual a 4°C Hadley HHGAX50). Onde a escala de importância vai do amarelo (80% de biodiversidade) ao vermelho escuro (100% da diversidade)

Nos cenários futuros teríamos como áreas de alta diversidade o noroeste do Rio Grande do Sul; o oeste de Santa Catarina; quase a totalidade do estado do Paraná; o litoral de São Paulo na região da Serra do Mar; e algumas áreas em Minas Gerais (a mesorregião oeste de Minas, o norte da mesorregião Sul e sudoeste de Minas e o leste do Triângulo Mineiro e alto Paranaíba). A maior diferença entre os cenários, é a inclusão de áreas com menor probabilidade de ocorrência no cenário otimista, como áreas fragmentadas no sul do estado de Goiás, o centro-oeste de São Paulo e o Vale do Paraíba, e o sul do estado do Rio Grande do Sul.

Obviamente que, levando em conta que a Mata Atlântica representava cerca de 15% do território brasileiro (1.300.000 km²) e representa hoje apenas 1,05% (91.000 km²), sofrendo uma devastação de 93% de sua área original, devemos preservá-la integralmente, minimizando a perda total de um dos biomas de maior diversidade biológica do mundo. Entretanto, na definição das áreas prioritárias para conservação é de fundamental importância considerar os dados obtidos neste estudo, sob o risco de decisões baseadas exclusivamente na ocorrência atual das espécies não garantirem a preservação efetiva para as próximas gerações das áreas de maior diversidade no futuro. É preciso considerar também que a extinção de poucas espécies arbóreas poderá desencadear o processo de extinção de dezenas de outros organismos intrinsecamente associados a estas espécies.

A elevada fragmentação de biomas como o Cerrado (CAVALVANTI & JOLY 2002) e a Mata Atlântica (FONSECA 1989; LAURANCE & DELAMONICA 1998), inviabiliza os processos naturais de expansão e retração de biomas, como os registrados a milhares de anos.

No passado, áreas significativas da Mata Atlântica foram preservadas onde a topografia era acidentada demais para a agricultura extensiva, como a Serra do Mar, do Espírito Santo à Santa Catarina, e a Serra da Mantiqueira. Entretanto, a expansão das grandes cidades, especialmente as capitais e as regiões metropolitanas das regiões sudeste e sul, a ocupação do litoral por condomínios e resorts turísticos, têm comprometido a conservação da biodiversidade inclusive nestas áreas.

Outro aspecto muito preocupante é, por exemplo, a situação do estado do Paraná, onde a agricultura e a pecuária no estado devastaram quase que a totalidade da floresta nativa, restando apenas 8,79% (S.O.S MATA ATLÂNTICA et al. 1998). Grande parte do estado é demarcada nesse estudo como sendo uma área potencial para a conservação e a falta de vegetação nativa impediria essa ação.

Pensando não mais em preservação, mas sim em áreas para um possível plano de reflorestamento, podemos utilizar áreas que hoje estão abandonadas pelo cultivo intensivo ou pela pecuária e são indicadas em estudos como esse, como sendo uma área prioritária para a conservação, para a criação de reservas que no futuro podem garantir a sobrevivência de dezenas de espécies. Além disso, espécies de valor econômico, como soja, feijão, frutas cítricas e cana-de-açúcar, provavelmente também irão sentir os efeitos das mudanças climáticas e deveram ter seus plantios deslocados de certas áreas. Deixando livre, áreas de tamanho significativo para o processo de reflorestamento ou ocupando áreas hoje ainda preservadas. Logo estudos comparativos entre espécies de valor econômico e as demais espécies vegetais devem ser feitos, a fim de garantir uma maior compatibilidade entre monoculturas e áreas vegetais preservadas.

Nos dias de hoje, não é mais a ocupação humana em locais específicos o maior problema da devastação e da extinção de milhares de espécies, e sim a emissão desenfreada de gases que aumentam o efeito estufa. Neste cenário torna-se imprescindível um conjunto de ações integradas que permitam não só a conservação dos remanescentes da Mata Atlântica, mas que também assegurem, através de projetos de recomposição da vegetação, criação de Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais, uma maior conectividade entre fragmentos hoje isolados. Corredores deste tipo poderão ser de fundamental importância para migração e/ou deslocamentos de espécies em função do aquecimento global nos próximos 100 anos. A reconstrução desta rede de conexões seria uma forma de aumentar as chances de assegurar a sobrevivência de um conjunto maior de espécies arbóreas e, conseqüentemente, dos demais organismos a elas associados.

Referencias

- ARAÚJO, M. B. & GUI SAN, A.** 2006. Five (or so) challenges for especies distribution modelling. *J. Biogeogr.* 33. p.1677-1688
- BUCKLAND, S.T.; GOUDIE, I.B.J. & BORCHERS, D.L.** 2000. Wildlife population assessment: past developments and future directions. *Biometrics* 56 p.1-12.
- CÂMARA, I.de G.** 1991. Mata Atlântica. Editora Index & Fundação S. O. S. Mata Atlântica.
- CAPOBIANCO, J. P. R.** organizador . 2004. Quem faz o que pela Mata Atlântica – 1999-2000: Projeto avaliação dos esforços de conservação, recuperação e uso sustentável dos recursos naturais de Mata Atlântica. São Paulo. Instituto Socioambiental.
- CAVALCANTI, R. B. & JOLY, C.A.** 2002. Biodiversity and Conservation Priorities in the Cerrado Region. In. *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savana.* (Oliveira, P. E. & R. J. Marquis, R. J. eds). Columbia Univesity Press, New York, NY. p.351- 367.
- CHAPMAN,A. D.; MUÑOZ, M. E. S. & KOCH, I.** 2005. Environmental information: placing biodiversity phenomena in an ecological and environmental context. *Biodiversity Informatics* (2) p.24-41.
- CULLEN,M.J.P.** 1993. The unified forecast/climate model. *Meteor. Mag.* 122 p.81-94.
- ELITH, J., GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUI SAN, A.; HIJMANS, R.J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J.R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L.G.; LOISELLE, B.A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, S.J.; RICHARDSON, K.S.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R.E.; SOBERÓN, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M.S. & ZIMMERMANN, N.E.** 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography.* 29. p.129-151.
- FONSECA, G. A. B.** 1989. Small mammal species diversity in Brazilian tropical primary and secondary forests of different sizes. *Revista Brasileira de Zoologia,* 6 (3): p.381-422.

GRINNELL, J. 1917. Field tests of theories concerning distributional control. *American Naturalist* 51: 115–128.

Hutchinson, R.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium of Quantitative Biology* 22: 415-427.

IBGE 1988. Mapa de Vegetação do Brasil. Brasília. Ministério da Agricultura. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES/IPCC 1994: *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris e K. Maskell (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES/IPCC GTI 1995: *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg e K. Maskell (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES/IPCC GTII 1995: *Climate Change 1995 – Impacts, Adaptations and Mitigations of Climate Change: Scientific-Technical Analyses: Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, R.T. Watson, M.C. Zinyowera e R.H. Moss (eds.). Cambridge University Press, New York, USA.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES/IPCC 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. McCARTHY, J. J., CANZIANI O. F., LEARY, N. A., DOKKEN, D. J. & WHITE, K. S. (eds.). Cambridge University Press, New York, USA.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES/IPCC 2007. *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. B. Metz, O. R.

Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

JOLY, C.A.; LEITÃO FILHO, H.F. & SILVA, S.M. 1991. O patrimônio florístico. In Câmara, I.G. (Coord.) "MATA ATLÂNTICA", Editora Index & Fund. SOS Mata Atlântica & Fund. Banco do Brasil, Rio de Janeiro, p. 94-125.

LAURANCE, W. F. & DELAMONICA, P. 1998. Ilhas de sobrevivência. *Ciência Hoje*, 24 (142) p.26-31.

LYONS, K.S. (2003) A quantitative assessment of the rate of range shifts of Pleistocene mammals. *Journal of Mammalogy*. 84 p.385-402.

MARTINEZ-MEYER, E.; PETERSON, A. T.; & HARGROVE, W. W. 2004. *Ecological niches as stable distributional constraints for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity*. *Global Ecology and Biogeography* 13. p.305-314.

NELSON, B.W. ; FERREIRA, A.C.A. ; SILVA, M. F. DA & KAWASAKI, M.L. 1990. Endemism centres, refugia and botanical collection density in Brazilian Amazonia. *Nature* 345. p.714-716.

OLIVEIRA, R. de J. 2001. Análise da variação florístico-estrutural das florestas atlânticas no estado de São Paulo, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

PETERSON, A. T., & D. A. VIEGLAIS. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling. *BioScience*, 51 p.363-371

PETERSON, A. T. & SHAW, J. (2003). *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal for Parasitology*, 33 p.919-931

PETERSON, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103: 599-605.

PETERSON, A. T., E. MARTÍNEZ-MEYER, C. GONZÁLEZ-SALAZAR, & P. HALL. 2004. Modeled climate change effects on distributions of Canadian butterfly species. *Canadian Journal of Zoology*, 82:851-858

PETERSON, A. T., J. SOBERON, & V. SANCHEZ-CORDERO 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285 p.1265-1267.

- PETERSON, A. T., L. G. BALL, & K. C. COHOON** 2002a. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis*, 144 p.e27-e32
- POPE, V.D., GALLANI, M.L., ROWNTREE, V.J., & STRATTON, R.A.** 2002. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model – HadAM3. Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Bracknell, Berks, U.K.
- SALIS, S.M., SHEPHERD, G.J. & JOLY, C.A.** 1995. Floristic comparison between mesophytic forests of the interior of the state of São Paulo, S.E. Brazil. *Vegetatio* 119: p.155-164.
- SCUDELLER, V.V. & MARTINS, F.R.** 2003. FITOGEO. *Acta Amazonica*.
- SENTELHAS, P.C., PEREIRA, A R. & ANGELOCCI, L.R.** 2000. *Meteorologia Agrícola*, 3º ed. ESALQ, Piracicaba, SP.
- SIQUEIRA, M.F. & PETERSON, A. T.** 2003. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. *Biota Neotropica* 3(2) URL http://www.biotaneotropica.org.br/v3n2/pt/fullpaper?bn0080302_2003+en
- SMITH, L.A.** 2002. What might we learn from climate forecasts? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99. p.2487–2492.
- S. O. S. MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS & INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL** 1998. Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período 1990-1995. São Paulo, 1998.
- SPECIESLINK** 2006. Sistema de Informação Distribuído para Coleções Biológicas: a Integração do Species Analyst e do SinBiota. URL <http://smlink.cria.org.br/>
- STOCKWELL, D. R. B. & NOBLE, I. R.** 1992. *Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis*. *Mathematics and Computer in Simulation* 33: 385-390.
- STOCKWELL, D. R. B. & PETERS, D. P.** 1999. *The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction*. *International Journal of Geographic Information Science* 13: 143-158.

- STOCKWELL, D. R. B.** 1999. *Genetic algorithms II*. in A. H. Fielding, editor. Machine learning methods for ecological applications. Kluwer Academic Publishers, **Boston**.
Pages 123-144
- TOWNSEND, C.R.; BEGON, M. & HARPER, J.L.** 2006. Fundamentos em Ecologia. 2^o ed. Porto Alegre. Editora ArtMed.
- THOMPSON, R.S. & MEAD, J.I.** 1982. Late Quaternary environments and biogeography in the Great Basin. *Quaternary Research*, 17 p.39-55.
- WELLS, P.V.** 1983. Paleobiogeography of montane islands in the Great Basin since the last glaciopluvial. *Ecological Monographs*, 53 p.341-382.