



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

**AFONSO RANIERY GOMES PINTO**

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Pilocarpus*  
*microphyllus* STAPF EX WARDLEW.**

**BELÉM**

**2017**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

**AFONSO RANIERY GOMES PINTO**

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Pilocarpus microphyllus*  
STAPF EX WARDLEW.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Manejo de ecossistemas de florestas nativas, para obtenção do título de Mestre.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Marcela Gomes da Silva  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Gracialda Costa Ferreira

**BELÉM**  
**2017**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

**AFONSO RANIERY GOMES PINTO**

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Pilocarpus microphyllus***  
**STAPF EX WARDLEW.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Manejo de ecossistemas de florestas nativas, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 04 de agosto de 2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Dra. Marcela Gomes da Silva - Orientadora  
Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Dr. Gustavo Schwartz – 1º Examinador  
Embrapa Amazônia Oriental

---

Dra. Maria de Nazaré Martins Maciel – 2º Examinadora  
Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Dr. Francisco de Assis Oliveira – Suplente  
Universidade Federal Rural da Amazônia

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por conceder-me a oportunidade de trilhar minha vida em Seus caminhos.

À minha família, em especial aos meus pais, Ralim e Elizabete, por não medirem esforços para que eu pudesse ter uma educação de qualidade, mesmo em meio a dificuldades, doaram-se ao máximo com amor, carinho e dedicação para que eu chegasse até aqui.

À minha esposa amada, Maéli, pelo companheirismo, por estar sempre ao meu lado, me motivando, apoiando e perfumando minhas escolhas da vida.

À Professora Gracialda, por abrir a porta do “onde tudo começou”, fazendo-me seu estagiário/orientado por 5 anos e contribuindo para que despertasse em mim o gosto pela modelagem. À Professora Marcela, por me aceitar como seu orientado no mestrado e por fazer com que tudo ocorresse conforme os procedimentos. A Professora Marinez, pela humildade, e por todo o conhecimento transmitido sobre o mundo da modelagem. A Professora Selma, por sempre estar presente, aos Professores Assis e Izildinha pelo apoio e dicas concedidos. Aos Professores Gustavo, Nazaré, Cecílio e Assis por aceitarem fazer parte da banca desta dissertação.

Ao Luíz Batista, Luíz Lemos, Pamplona, Leonor, Renan e todos da equipe Vale pelo apoio financeiro e logístico que proporcionaram o desenvolvimento desta pesquisa e ao Frederico Drumond (Fred) do ICMBio pelo incentivo, autorizações, apoio e dicas concedidos.

À equipe do PJ (Projeto Jaborandi), principalmente aos parceiros Charles, Juhn e Romulo pela amizade e ajuda na coleta de dados, a Coex Carajás, em especial ao Gilson e Ana pelo apoio logístico, ao seu Luíz, Genival, Antônio (Zé Manim) e Raimundo (Pajé) pela ajuda e parceria até umas horas na Floresta Nacional de Carajás.

À todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram para que essa pesquisa fosse desenvolvida.

*Á Deus, por guiar a minha vida em Seus caminhos,  
À mulher da minha vida, Maéli, pelo apoio incondicional em todos os momentos,  
Aos meus pais, Ralim e Elizabete, pela dedicação, amor, disciplina e educação me concedidos,  
A minha irmã, Amanda, pelo carinho.*

**DEDICO**

## RESUMO

*Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw (Rutaceae) encontra-se ameaçada de extinção pela perda de área de ocupação e qualidade do hábitat, em consequência do desmatamento para atividades agropecuárias, assentamentos e pelos níveis de uso e importância econômica, estimando-se que a redução populacional ocorrida nos últimos 10 anos tenha sido maior que 50%. A Modelagem da Distribuição Potencial (MDP) é uma ferramenta importante para prever a distribuição de espécies ameaçadas de extinção. O objetivo deste trabalho foi prever a ocorrência de *P. microphyllus* por meio de técnicas de modelagem preditiva utilizando variáveis ambientais, em escala de abrangência regional, para mapeamento da distribuição geográfica da espécie. O estudo foi conduzido nos estados do Pará, Maranhão e Piauí, onde foram utilizados um total de 32 pontos georreferenciados, sendo coletados 12 em campo e 20 pontos obtidos da literatura. Dos 32 pontos, 22 foram utilizados para modelagem e 10 foram utilizados para validação dos modelos. As variáveis ambientais utilizadas para modelagem ambiental foram a temperatura média do mês mais frio (°C) (BIO 06), a faixa de temperatura anual (mm) (BIO 07), a precipitação anual (mm) (BIO 12), precipitação da estação seca (mm) (BIO 17), precipitação da estação fria (mm) (BIO 18), precipitação da estação quente (mm) (BIO 19), altitude (m) (ALT) e o leptossolo lítico (SOLO). A modelagem da distribuição potencial de *P. microphyllus* foi conduzida no pacote estatístico R Core Team (2016), por meio da interface Model-R. A maior correlação ocorreu entre a variável BIO 06 e ALT, de valor negativo (0,96) para o coeficiente de Pearson. O processo de modelagem ocorreu utilizando os algoritmos BioClim, GLM e Maxent, ao qual foram configurados para gerar os modelos do tipo Kfold. Os modelos GLM e Maxent obtiveram os melhores valores de validação estatística para AUC (0,84 e 0,88) e TSS (0,76 e 0,79), e foram selecionados para geração do modelo consenso. O consenso foi validado com 80% de acerto com os dados de campo e utilizado para associação com Unidades de Conservação e áreas desmatadas para seleção de áreas para conservação. Foram selecionadas 12 áreas, com um total de 236.283,23 hectares de vegetação. A hipótese testada nesta pesquisa não foi rejeitada, pois com a modelagem potencial pôde-se identificar áreas não conhecidas com boa adequabilidade à presença de *P. microphyllus*, que podem servir para ações conservacionistas e a gestão sustentável deste recurso ameaçado de extinção, minimizando e redistribuindo as atividades extrativistas sobre as populações atualmente conhecidas.

## PALAVRAS – CHAVE

Modelagem de Distribuição Potencial, Conservação, Espécies Ameaçadas de Extinção, Variáveis Ambientais, Algoritmo.

## ABSTRACT

*Pilocarpus microphyllus* Stapf. Ex Wanderw (Rutaceae) is threatened with extinction due to loss of habitat and habitat quality, as result of deforestation for agricultural activities, settlements, and levels of use and economic importance, estimating that the population reduction occurred in the last 10 years was greater than 50%. Potential Distribution Modeling (MDP) is an important tool to predict the distribution of endangered species. The objective of this work was to predict the occurrence of *P. microphyllus* by means of predictive modeling techniques using regional variables, for mapping of the geographic distribution of the species. The study was conducted in the states of Pará, Maranhão and Piauí, where a total 32 georeferenced points used, being collected 12 in the field and 20 points obtained from the literature. Of the 32 points, 22 were used for modeling and 10 were used for model validation. The environmental variables used for environmental modeling were the mean temperature of the coldest month (° C) (BIO 06), annual temperature range (mm) (BIO 07), annual precipitation (mm) (BIO 12), rainfall (BIO 17), cold season precipitation (mm) (BIO 18), hot season precipitation (mm) (BIO 19), altitude (m) (ALT) and lytic leptosol (SOIL). The modeling of the potential distribution of *P. microphyllus* was conducted in the R Core Team (2016) statistical package, through the Model-R interface. The highest correlation occurred between the BIO 06 and ALT variables, of negative value (0.96) for the Pearson coefficient. The modeling process was performed using the BioClim, GLM and Maxent algorithms, which were configured to generate Kfold type models. The GLM and Maxent models obtained the best statistical validation values for AUC (0.84 and 0.88) and TSS (0.76 and 0.79), and were selected for generation of the consensus model. The consensus was validated with 80% accuracy with field data and used for association with Conservation Units and deforested areas for selection of areas for conservation. Were selected twelve areas, with a total of 236,283.23 hectares of vegetation. The hypothesis tested in this research was not rejected, because with the potential modeling it was possible to identify areas not known with good suitability for the presence of *P. microphyllus*, which can serve for conservation actions and the sustainable management of this threatened resource, minimizing and redistributing the extractive activities on the populations currently known.

## KEY WORDS

Modeling Potential Distribution, Conservation, Threatened Species, Environmental Variables, Algorithm.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Municípios que abrangem os principais polos de compra de folhas secas de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw (Parauapabas/PA, São Félix do Xingú/PA, Barra do Corda/MAe Luzilândia/PI) e o município que localiza-se o Grupo CENTROFLORA (Parnaíba/PI).....	17
Figura 2 Localização dos registros de ocorrência de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw nos estados do Pará, Maranhão e Piauí. ....	26
Figura 3. Esquema representativo de coleta das coordenadas ao entorno das reboleiras de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw para extração do centroide.....	27
Figura 4. Matriz de correlação de Pearson para as variáveis utilizadas na modelagem potencial de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw utilizando o algoritmo Maxent. ....	32
Figura 5. Modelo binário (A) e modelo contínuo (B) de distribuição de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw gerado pelo algoritmo BioClim. ....	34
Figura 6. Modelo binário (A) e modelo contínuo (B) de distribuição de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw gerado pelo algoritmo GLM. ....	35
Figura 7. Modelo binário (A) e modelo contínuo (B) de distribuição de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw gerado pelo algoritmo MaxEnt. ....	35
Figura 8. Modelo de distribuição potencial gerado pelo consenso do algoritmo GLM e MaxEnt de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw com os pontos (10) plotados para validação de campo. ....	36
Figura 9. Áreas com alta probabilidade de ocorrência indicadas a conservação de <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw com a utilização do Modelo de distribuição potencial gerado pelo consenso do algoritmo GLM e MaxEnt associado as Unidades de Conservação e as áreas desmatadas nos biomas de ocorrência da espécie. ....	37

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis ambientais utilizadas na modelagem da distribuição potencial de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw via WorldClim (Hijmans et al., 2005); Ambdata (INPE, 2013); SoilGrid (Hengl, 2014)..... 29

Tabela 2. Índices de validação para o modelo de máxima entropia (Maxent) utilizados na modelagem potencial de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw. AUC (Area Under Curve), TSS – (True Skill Statistic) e Índice Kappa. .... 33

Tabela 3. Coordenadas geográficas e tamanho (hectares) das 12 áreas indicadas a conservação com alta probabilidade de ocorrência de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw. .... 37

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1. CONTEXTUALIZAÇÃO <sup>1</sup> .....	12
1.1. A biodiversidade ameaçada por falta de conhecimento.....	12
1.2. Modelagem preditiva de espécies .....	13
1.3. Contribuição da modelagem na conservação da biodiversidade .....	14
1.4. <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf Wardl (Rutaceae): ameaça de extinção por perda de hábitat .....	15
1.5. Polos de coleta de folha de <i>P. microphyllus</i> .....	16
2. REFERÊNCIAS .....	19
Áreas potenciais para conservação de Jaborandi ( <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf. ex Wanderw ). .....	23
1. Introdução <sup>2</sup> .....	23
2. Material e Métodos.....	24
3. Resultados .....	32
4. Discussão.....	38
5. Considerações Finais.....	40
6. Referências .....	41

# 1. CONTEXTUALIZAÇÃO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Este capítulo segue as normas de apresentação da UFRA

## 1.1. A biodiversidade ameaçada por falta de conhecimento

A utilização sustentável dos recursos e a definição de estratégias voltadas à conservação são limitadas pela falta de conhecimento (MEDEIROS, 2006). Para 90% das espécies, não foi feita sequer uma descrição formal e as outras 10% restantes, sabe-se o bastante para dar-lhes um nome e conhecer algumas características (JENKINS & PIMM, 2006).

Atualmente os dados disponíveis sobre as espécies vegetais da Amazônia não revelam sua distribuição, e sim, as áreas onde têm sido realizadas coletas botânicas. Isto faz com que os padrões de biodiversidade na Amazônia não consigam ser explicados (HOPKINS, 2007).

Ações conservacionistas na Amazônia passam obrigatoriamente pelo conhecimento da biodiversidade, tornando enormes as demandas atuais pela informação científica de alta qualidade e o desafio enfrentado pelos taxonomistas (PEIXOTO & MORIN, 2003).

A primeira lista de espécies de plantas ameaçadas de extinção no Brasil, publicada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF, 1968), incluía 13 espécies (MITTERMEIER, 2005). Atualmente a Lista Oficial da Flora Ameaçada de Extinção do Ministério do Meio Ambiente é composta por mais de 400 espécies com risco de extinção e aproximadamente 1000 espécies com deficiência de dados. Para a maioria das espécies ameaçadas, este aumento na listagem possui como razão primária a perda de hábitat (JENKINS & PIMM, 2006)

A identificação científica correta das espécies é fundamental para subsidiar às tomadas de decisão concernente à biodiversidade e como suporte a pesquisadores de diferentes áreas cujo trabalho requer a identificação correta das plantas com as quais trabalham (VERÍSSIMO & COPOBIANCO, 2001; FERREIRA, 2009).

Isto implica diretamente na conservação da biodiversidade, que pela insuficiência de informações científicas das plantas, dificuldades de acesso a áreas ainda florestadas, técnicos capacitados na identificação científica e, falta de recursos financeiros, acabam contribuindo diretamente para que haja um aumento significativo do número de espécies ameaçadas de extinção.

Algumas das tentativas de estimar a biodiversidade nos trópicos envolvem a Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) e a Modelagem de Nicho Ecológico (MNE), procedimentos analíticos muito utilizados para auxiliar na delimitação da distribuição geográfica e na identificação dos fatores que influenciam a ocorrência das espécies (FRANKLIN, 2009). Porém, a insuficiência das informações frente a enorme riqueza e diversidade biológica faz com que os

dados ecológicos e/ou ambientais em geral não existem ou divergem em escala com os dados de ocorrência das espécies (SIQUEIRA, 2005; GALBERT et al., 2006).

Apesar de sua importância para embasar estudos evolutivos, ecológicos (PAGLIA et al. 2012) e conservacionistas das espécies, pesquisas que utilizam como ferramenta a modelagem de distribuição potencial (MDP) na Amazônia são escassos (FIGUEIREDO et al., 2015). Falta às instituições recursos humanos, estruturais e financeiros que impedem o conhecimento amplo da sua flora, limitando total ou parcialmente o conhecimento da distribuição geográfica (KAMINO et al., 2012), extensão e área de ocorrência de espécies.

A maioria dos trabalhos que usa a MDP têm utilizado dados de ocorrência de espécies contidos em coleções científicas, às vezes disponibilizadas na internet (MOBOT – Missouri Botanical Garden, NYBG – New York Botanical Garden, SpeciesLink e CONABIO)<sup>1</sup>. No entanto, alguns problemas estão associados com o uso desses dados, como por exemplo: a) erros na determinação da espécie; b) erros ou imprecisões associadas ao georreferenciamento dos dados; c) tendenciosidades na coleta de dados (por exemplo, por facilidade de acesso, dados coletados ao longo de rodovias ou de rios) e d) falta de correspondência temporal entre as coletas, muitas vezes representando uma discrepância de várias décadas entre os registros de espécimes (SIQUEIRA, 2005).

O entendimento dos padrões de distribuição das espécies é fundamental para a conservação da diversidade biológica (FERREIRA, 2009). Isto torna a MDP uma ferramenta importante para: a) prever a distribuição de espécies ameaçadas de extinção (PEARSON ET AL., 2007); b) determinar novas espécies e padrões de distribuição (RAXWORTHY et al., 2003); c) selecionar espécies para recuperação de áreas degradadas (SIQUEIRA, 2005) e d) determinar áreas com maior risco de invasão por espécies exóticas (BROENNIMANN et al., 2007). Além disso, a ferramenta pode auxiliar nas tomadas de decisão que visem contribuir para a manutenção da biodiversidade em diversas escalas espaciais.

## **1.2. Modelagem preditiva de espécies**

A MDP consiste na utilização de algoritmos para conversão de dados primários de ocorrência de espécies em mapas de distribuição geográfica, indicando a provável presença ou ausência da espécie (SIQUEIRA, 2005).

A partir de dados de presença e/ou ausência, dados ecológico/ambientais relevantes como temperatura, precipitação, topografia, tipo de solo, geologia, entre outros, os modelos

---

<sup>1</sup> (MOBOT – Missouri Botanical Garden, disponíveis em (<http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>), NYBG – New York Botanical Garden, dados de plantas disponíveis em (<http://sciweb.nybg.org/science2/vii2.asp>), SpeciesLink – dados de plantas, animais e microorganismos disponíveis em (<http://splink.cria.org.br/tools?criaLANG=pt>) e CONABIO – dados de plantas e de animais disponíveis em (<http://www.conabio.gob.mx/>)

gerados por estes algoritmos geralmente associam variáveis climáticas em escalas de nível regional ou continental, e apontam a potencialidade do hábitat para que populações ou comunidades se desenvolvam(SIQUEIRA, 2005; FERREIRA, 2009).

A MDP pode ser baseada ecologicamente pela Teoria de Nicho Ecológico de e de Grinnell (1917, 1924). Para escalas menores aplica-se a teoria de MacArthur & Levins (1967), estabelecendo os limites de condições ambientais necessárias para a persistência de uma espécie em um determinado local associada a coexistência, quando duas espécies utilizam o mesmo recurso, porém de formas distintas, de modo que a competição é reduzida. A teoria de Grinnell (1917, 1924), é utilizada para escalas maiores, obtendo-se a distribuição de uma espécie, sem levar em consideração a presença de interações com outras espécies, considerando somente os locais que possuem as condições ambientais necessárias para uma espécie sobreviver (GATTI, 2013).

Logo, modelos de adequação de habitat podem ser vistos como aplicações operacionais ecológicas de nicho, utilizando condições e fatores ambientais que influenciam a presença/ausência ou abundância de uma espécie. Além disso, com os modelos, pode-se prever locais com alta ou baixa probabilidade de ocorrência desta espécie em toda área de estudo (HIZEL & LAY, 2008; DE MARCO JUNIOR & SIQUEIRA, 2009).

Existem três tipos de algoritmos de modelagem, cujo critério de classificação está na forma que processam os dados, sendo eles os envelopes bioclimáticos, como o BIOCLIM (BUSBY, 1991), os de ajustes estatístico, como o *Generalized Linear Model* – GLM (WILEY & SONS, 2006) e os de inteligência artificial, como o MaxEnt (PHILLIPS, 2006).

O BIOCLIM gera parâmetros bioclimáticos derivados de superfícies climáticas para determinar um envelope climático para plantas e animais. O GLM consiste na utilização de uma variável aleatória, um conjunto de variáveis explicativas e a especificação estatística de probabilidade que a variável aleatória será especificada pelas explicativas. O MaxEnt ajusta uma distribuição de probabilidades de ocorrência da espécie no espaço geográfico a partir das variáveis ambientais relacionadas tanto aos dados de presença quanto à paisagem, considerada como pseudoausências, tornando-a mais próxima de uma distribuição uniforme (distribuições uniformes geram maior incerteza quanto à ocorrência de um evento, portanto, alcançam a máxima entropia do sistema) (LIMA-RIBEIRO & DINIZ-FILHO, 2012).

### **1.3. Contribuição da modelagem na conservação da biodiversidade**

A utilização de modelos de distribuição de espécies nos últimos anos vem tendo maior importância para estudos de biodiversidade, tomadas de decisão e priorização de áreas para conservação (SHCHEGLOVITOVA & ANDERSON, 2013; NÓBREGA & DE MARCO JUNIOR, 2011), que requerem estratégias e planejamento sistemático.

O Planejamento Sistemático para Conservação (PSC) tem sido a estratégia mais utilizada para indicar as melhores áreas ao estabelecimento de Unidades de Conservação (UC), principalmente para minimizar a perda de hábitat de espécies ameaçadas de extinção, que no Brasil ocorre principalmente pela supressão vegetal (PAGLIA et al. 2012) e o desmatamento de áreas nativas.

A localização das áreas de implantação de UC's segue padrões físicos, biológicos e topográficos com extensão e limites naturais como os impostos pelas redes hidrográficas, por exemplo, e deve dispor de recursos e condições para a manutenção da biodiversidade total ou parcial da localidade.

As técnicas que vêm sendo utilizadas na seleção de áreas mais favoráveis à implantação de UC's envolvem modelagem preditiva e correlação de táxons para estimar a distribuição potencial de espécies-alvo para a conservação (MARGULES & PRESSEY, 2000; PAGLIA et al. 2012).

A seleção de áreas prioritárias à conservação depende do conhecimento da biodiversidade que se deseja conservar, mas este conhecimento é limitado, recomendando-se a utilização de variáveis ambientais e climáticas e/ou espécies que indicam a probabilidade da ocorrência das espécies de interesse. Na Austrália, um estudo realizado com espécies de plantas medicinais, que estão desaparecendo por perda de hábitat, foi conduzido utilizando variáveis bioclimáticas, com a finalidade de indicar áreas potenciais a conservação (GAIKWAD et al. 2011).

Modelos ecológicos de nicho podem ser problemáticos quando utilizados para prever a existência de espécies com poucos registros de ocorrência ou que estejam ameaçadas de extinção. No entanto, essas espécies podem ser as que mais necessitam de modelos preditivos para iniciativas conservacionistas (GAUBERT et al., 2006).

#### **1.4. *Pilocarpus microphyllus* Stapf Wardl (Rutaceae): ameaça de extinção por perda de hábitat**

Segundo os dados consolidados do Projeto de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia Legal (Prodes), ligado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram desmatados, em 2013, cerca de 6,9 mil km<sup>2</sup> e em 2016, 8 mil km<sup>2</sup> da Amazônia Legal brasileira, estimando-se uma redução de área de 71% desde o início do monitoramento em 2004. Esses números mostram que a biodiversidade perdida pelo desmatamento pode ser o principal fator para redução e extinção de espécies na Amazônia.

*Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw (Rutaceae) encontra-se ameaçada pela perda de área de ocupação e qualidade do hábitat, em consequência do desmatamento para atividades agropecuárias, assentamentos e pelos métodos inadequados de coleta de folhas nas atividades

extrativistas ocorridas nas últimas décadas. Estima-se que a redução populacional ocorrida entre 2003 e 2013 (10 anos) tenha sido maior que 50% (MARTINELLI & MORAES, 2013).

Nas últimas décadas, *P. microphyllus* têm sido um dos produtos naturais comercializados mais importantes na flora brasileira (PINHEIRO, 2002) por ter na composição de suas folhas o alcaloide pilocarpina, utilizado no tratamento de alguns tipos de glaucoma (PINHEIRO, 1997), tendo grande importância no setor oftalmológico.

Além do desmatamento, o uso comercial e incentivo da indústria farmacêutica, as populações nativas de *P. microphyllus* vêm sofrendo extrema redução, o que levou a inclusão (IBAMA, 1992) e manutenção (BRASIL, MMA, 2014) da espécie na Lista Oficial da Flora Ameaçada de Extinção do Ministério do Meio Ambiente e no Livro Vermelho da Flora do Brasil (MARTINELLI & MORAES, 2013).

Assim, o registro de novas áreas de ocorrência natural de populações de *P. microphyllus* torna-se um importante passo para diminuir a pressão existente nas áreas atualmente conhecidas.

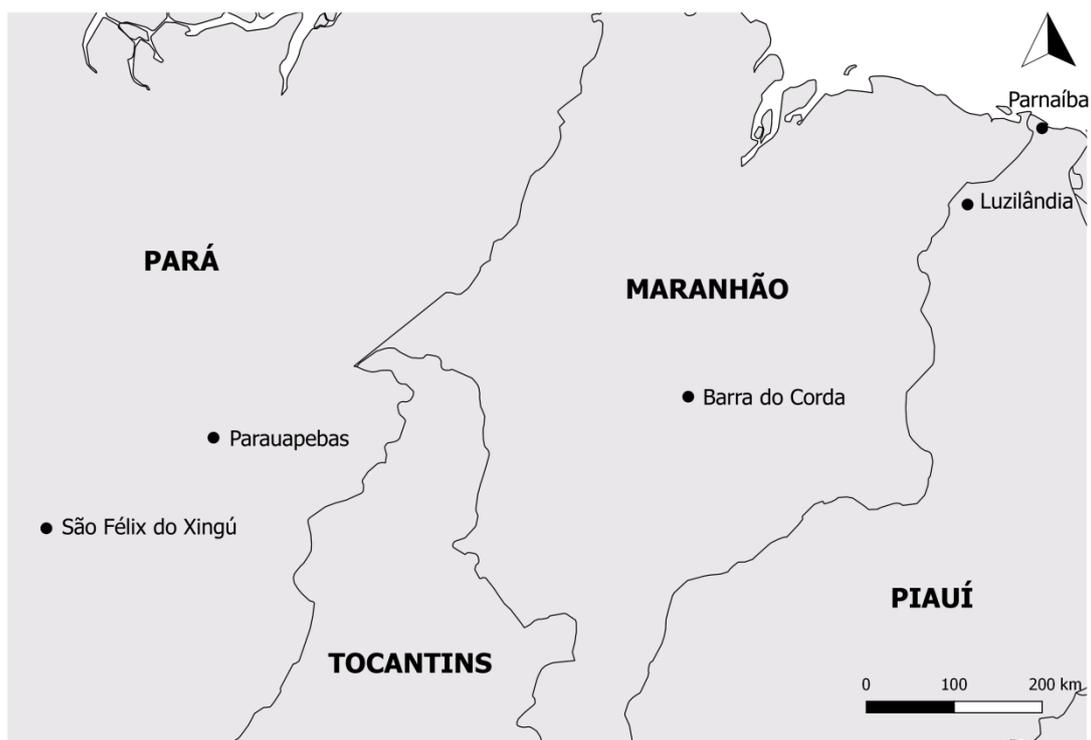
### **1.5. Polos de coleta de folha de *P. microphyllus***

Atualmente, o Grupo CENTROFLORA, de Parnaíba (PI), realiza a demanda anual em toneladas e a compra da folha de seca de *P. microphyllus* para extrair em processo industrial a pilocarpina cristalizada e exportar o produto.

A compra é realizada em 4 principais polos (Figura 1), que incluem as cooperativas, COEX – Carajás (Cooperativa dos Extrativistas da Flona de Carajás) em Parauapebas (PA) e a CAMPPAX (Cooperativa Alternativa Mista dos Pequenos Produtores do Alto Xingu), em São Félix do Xingu (PA), a Associação de Pequenos Agricultores da Região de Cutias (APARC), em Luzilândia (PI) e em Barra do Corda (MA), na qual a compra da folha seca é realizada por intermédio de um atravessador.

As coletas de folhas geralmente ocorrem nas áreas de fácil acesso, sem planejamento detalhado que envolva informações do período de coleta anterior. Isso causa pressão sobre as populações nas áreas que, além de fácil acesso, são as que mais os coletores têm conhecimento.

A obtenção de modelo (s) para prever a distribuição de *P. microphyllus*, que ocorre de forma agregada, definida como “reboleiras” ou “bolas” (COSTA, 2012), em áreas com potencial de ocorrência, é um importante passo para minimizar a pressão exercida nessas populações. Os modelos também podem contribuir na conservação da espécie e futuramente a saída da espécie da lista de espécies ameaçadas de extinção.



**Figura 1.** Municípios que abrangem os principais polos de compra de folhas secas de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw (Parauapabas/PA, São Félix do Xingú/PA, Barra do Corda/MAe Luzilândia/PI) e o município que localiza-se o Grupo CENTROFLORA (Parnaíba/PI).

## Questão Científica

Existem outras áreas de ocorrência natural de populações de *Pilocarpus microphyllus* que possam servir para ações conservacionistas e a gestão sustentável desse recurso como contribuição ao combate a extinção da espécie?

## Hipótese

Existem outras áreas de ocorrência natural de *P. microphyllus* que ainda não foram descobertas, o que poderia reduzir a pressão sobre a espécie nas áreas atualmente exploradas, além de gerar a perspectivas de saída da espécie das listas de espécies ameaçadas de extinção.

## Objetivo Geral

Predizer a ocorrência de *P. microphyllus* por meio de técnicas de modelagem preditiva utilizando variáveis ambientais em escala de abrangência regional para o mapeamento da distribuição geográfica da espécie.

## Objetivos Específicos

- Determinar as variáveis ambientais preditoras, que mais se correlacionam para modelar *P. microphyllus*;
- Modelar áreas que possuem alta adequabilidade de ocorrência do nicho de *P. microphyllus* como contribuição a gestão sustentável desse recurso.

## 2. REFERÊNCIAS

ANDY, L. & WIENER, M. Classification and Regression by randomForest. R News. v. 2-3, p. 18-23, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instrução Normativa N°. 06 de 23 de setembro de 2008. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, v.145, n.185, 2008. Seção 1, p. 75-83.

BROENNIMANN, O., U.A. TREIER, H. MULLER-SCHARER, W. THUILLER, A.T. PETERSON & A. GUISAN. Evidence of climatic niche shift during biological invasion. Ecology Letters, v. 10, p. 701-709, 2007. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01060.x>

BUSBY, J.R. BIOCLIM - A bioclimate analysis and prediction system. In: Margules, C.R. & Austin, M.P. (eds), Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis. CSIRO, 1991. p. 64-68.

BUSH, M. B. & T. E. LOVEJOY. Amazonian conservation: Pushing the limits of biogeographical knowledge. Journal of Biogeography, v.34, p. 1291–1293, 2007. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01758.x>

COSTA, F. G. Os folheiros do jaborandi: organização , parcerias e seu lugar no extrativismo amazônico. Tese de Doutorado, UFPA, Belém, PA. 198 p. 2012.

DE MARCO JUNIOR, P. & SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?. Megadiversidade, v. 5 (1-2), p. 65 – 76, 2009.

FERREIRA, G. C. Modelagem ambiental de espécies de árvores no Vale do Jari, Monte Dourado, Pará usando dados de inventário florestal. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, RJ. 204 p, 2009.

FIGUEIREDO, S. M. M., VENTICINQUE E. M., FIGUEIREDO, E. O., FERREIRA , E. J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. Acta Amazônica, v. 45, n. 2, p.167 – 174, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201402834>

FRANKLIN, J. Species distribution modeling. In: J. Franklin (ed.). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, p. 3 - 20, 2009.

GAIKWAD, J.; WILSON, P. D. & RANGANATHAN, S. Ecological niche modeling of customary medicinal plant species used by Australian Aborigines to identify species-rich and culturally valuable areas for conservation. Ecological Modelling, v. 222, p. 3437– 3443, 2011. [doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.07.005](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.07.005)

GAUBERT, P., PAPES, M., PETERSON, A.T. Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp.). *Biological Conservation*, v. 130, p. 106–117, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2005.12.006>

GATTI, A. Modelos de nicho, mudanças climáticas e a vulnerabilidade do clado *Perissodactyla* ao longo do tempo. Tese de Doutorado. Vitória, ES, 202 p, 2013.

GRINNELL, J. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, v. 34(4), p. 427-433, 1917.

GRINNELL, J. Geography and evolution. *Ecology*, v. 5(3), p. 225-229, 1924.

HIZEL, A. H. & LAY, G. L. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, v. 45, p. 1372–1381, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>

HOPKINS, M. J. Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin. *Journal of Biogeography*, v. 34, p. 1400–1411, 2007. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01737.x>

HUTCHINSON, G.E.; MACARTHUR, R. H. A. Theoretical Ecological Model of Size Distributions Among Species of Animals *The American Naturalist*, v. 93, n. 869, p. 117-125, 1959.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Portaria IBAMA nº 37-N, de 03 de Abril de 1992. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Diário Oficial [da Republica Federativa do Brasil], Brasília, DF, 1992.

JENKINS, C. N., & PIMM, S. L. Definindo prioridades de conservação em um hotspot de biodiversidade global. *Biologia da Conservação: Essências*, p. 41–52, 2006.

KAMINO, L. H. Y.; STEHMANN J. R.; AMARAL, S. DE MARCO J. P., RANGEL. T. F.; SIQUEIRA, M. F.; DE GIOVANNI R. & HORTAL, J. Challenges and perspectives for species distribution modeling in the neotropics. *Biology Letters - Conservation Biology*, v. 8, p. 324–326, 2011. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0942>

LIMA-RIBEIRO, M. de S. & DINIZ-FILHO, J. A. F. Modelando a Distribuição Geográfica das Espécies no Passado: Uma Abordagem Promissora em Paleocologia. *REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA*, v.15 (3), p. 371-385, 2012. <http://doi.org/10.4072/rbp.2012.3.12>

MACARTHUR, R. & LEVINS, R. The Limiting Similarity, Convergence, and Divergence of Coexisting Species. *The American Naturalist*, v. 101(921), p. 377-385, 1967.

MARGULES, C. R. & PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. *Nature*, V. 405, p. 243-253, 2000.

MALHADO, A., LADLE, R., WHITTAKER, R., NETO, A., MALHI, Y., STEEGE, H. The ecological biogeography of Amazonia. *Frontiers Biogeography*, v. 5, n. 2, p. 103–112, 2013.

MARTINELLI, G. & MORAES, M. A. Livro vermelho da flora do Brasil. 1 ed. Rio de Janeiro. RJ. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 1100 p. 2013. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

MEDEIROS, R. Desafios à gestão sustentável da biodiversidade no Brasil. *Floresta e Ambiente*, v. 13, n. 2, p. 01 – 10, 2006.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A.; BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 601-607, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00709.x>.

MYERS N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *NATURE*, v. 403, p. 853-858, 2000. <http://dx.doi.org/10.1038/35002501>

NÓBREGA, C. C.& DE MARCO. P. Unprotecting the rare species: A niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions*, v.17, p. 491-505, 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00749.x>

PAGLIAI, A. P.; REZENDE, D. T.; KOCH, I.; KORTZ, A. R. & DONATTI, C. Modelos de Distribuição de Espécies em Estratégias para a Conservação da Biodiversidade e para Adaptação Baseada em Ecossistemas Frente a Mudanças Climáticas. *Natureza & Conservação*, v. 10(2), p. 231-234, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031>

PEARSON, R.G., C.J. RAXWORTHY, M. NAKAMURA & A.T. PETERSON. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in madagascar. *Journal of Biogeography*, v. 34, p. 102-117, 2007. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>

PEIXOTO, A.L., MORIN, M.P. Coleções botânicas: documentação da biodiversidade brasileira. *Ciência e Cultura*, v. 55(3), p. 21, 2003.

PEREIRA, S. N. C. Payment for environmental services in the Amazon forest: how can conservation and development be reconciled?. *The Journal of Environment & Development*. v. 19, p. 171–190, 2010. <http://dx.doi.org/10.1177/1070496510368047>

PINHEIRO, C. U. B. Jaborandi (*Pilocarpus* sp., Rutaceae): A wild species and its rapid transformation into a crop. *Economic Botany*, v. 51(1), p. 49-58, 1997.

PINHEIRO, C.U.B. Extrativismo, cultivo e privatização do Jaborandi (*Pilocarpus microphyllus* Stapf ex Holm., Rutaceae) no Maranhão, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, v. 16 (2), p. 141-150, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062002000200002>

PHILLIPS, S.J.; ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, p. 231-259, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

RAXWORTHY, C.J. E.; MARTINEZ-MEYER, N.; HORNING, R.A.; NUSSBAUM, G.E.; SCHNEIDER, M.; ORTEGA-HUERTA & A.T. PETERSON. Predicting distributions of known and unknown reptile species in madagascar. *Nature*, v. 426, p. 837-841, 2003. <http://doi.org/10.1038/nature02205>

SIQUEIRA, M. F. Uso de modelagem de nicho fundamental na avaliação do padrão de distribuição geográfica de espécies vegetais. Tese de Doutorado. São Carlos, SP, 119 p, 2005.

SHCHEGLOVITOVA, M. & ANDERSON, R. P. Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, v. 269, p. 9 – 17, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.011>

VERÍSSIMO, A. & CAPOBIANCO, J.P.R. Biodiversidade da Amazônia Brasileira. São Paulo, Estação Liberdade: Instituto Socioambiental, 540 p, 2001.

WILEY, J. & SONS. Generalized Linear Models. *Encyclopedia of Statistical Sciences*, 2006.

# 1 **Áreas potenciais para conservação de Jaborandi (*Pilocarpus*** 2 ***microphyllus* Stapf. ex Wanderw ).**

## 3 4 **1. Introdução<sup>2</sup>**

---

5  
6 <sup>2</sup> Este capítulo segue as normas de apresentação da Revista Forest Ecology and Management

7  
8 No período de 2003 a 2013 estima-se que as populações de *Pilocarpus microphyllus*  
9 Stapf. ex Wanderw (conhecida no Brasil por jaborandi) tiveram uma redução maior que  
10 50% (Martinelli & Moraes, 2013). Isto se deve principalmente à perda de área de  
11 ocupação de hábitat devido a supressão da vegetação nativa e atividades agropecuárias  
12 nas áreas de distribuição da espécie.

13 As informações existentes na literatura recente sobre a distribuição geográfica de *P.*  
14 *microphyllus* utilizam dados altimétricos, apontando para os estados do Pará, Maranhão  
15 e Piauí, não sendo uma espécie endêmica do Brasil (Martinelli e Moraes, 2013).

16 Trata-se de um arbusto de clima quente e úmido, bastante ramificado, apresentando  
17 altos índices de crescimento em terrenos arenosos e argilosos de baixa fertilidade. A  
18 espécie ocorre naturalmente em vegetação levemente adensada, em solos litólicos com  
19 afloramentos rochosos (Marques & Costa, 1994), principalmente em savana metalófila e  
20 floresta ombrófila aberta.

21 Levantamentos florísticos realizados na Floresta Nacional de Carajás e na Estação  
22 Ecológica Terra do Meio, ambos no estado do Pará, mostram que estas áreas possuem a  
23 maior capacidade de produção de folhas seca por hectare ano-1 de *P. microphyllus*  
24 (Homma, 2003), o que mostra também a importância econômica da espécie.

25 A principal importância de *P. microphyllus* é no setor farmacêutico, visto que de suas  
26 folhas secas são extraídos alcaloides secundários de pilocarpina, muito utilizados na

27 formulação de colírios para tratamento de glaucoma, xerostomia (efeito —boca seca) e  
28 em tratamentos pós quimioterápicos de cabeça e pescoço (Pastore Junior & Borges, 1999;  
29 Ferreira, 2003; Homma, 2003).

30 *P. microphyllus* foi incluída em duas listas nacionais de espécies ameaçadas de  
31 extinção (MMA, 2014; Livro Vermelho da Flora do Brasil, 2013), o que gera uma  
32 situação de alerta, principalmente pela importância ecológica, social e medicinal da  
33 espécie. Neste contexto, encontrar áreas com alta adequabilidade ambiental seria um  
34 importante passo para implantar processos de conservação e gestão desse recurso.

35 A utilização de Modelos de Distribuição de Espécies (MDE) torna-se importante na  
36 predição de áreas com alta adequabilidade de nicho para espécies ameaçadas de extinção  
37 com vistas a ações conservacionistas mais eficazes. Estes modelos consideram as  
38 variáveis ambientais selecionadas como uma aproximação do nicho de uma determinada  
39 espécie (Phillips et al., 2006).

40 Os modelos gerados por variáveis bioclimáticas em escala regional não consideram  
41 as interações bióticas e a adaptação das espécies (Davis et al., 1998; Pearson e Dawson,  
42 2003), o que pode ser considerado uma limitação. Mas modelos aplicados na escala macro  
43 podem ter sucesso, pois neste cenário, a influência do ambiente ultrapassa as interações  
44 entre espécies (Pearson e Dawson, 2003).

45 Neste contexto, o conhecimento sobre a área potencial de ocorrência de *P.*  
46 *microphyllus* torna-se um importante passo para conservação da espécie. O objetivo deste  
47 trabalho foi prever a ocorrência de *P. microphyllus* por meio de técnicas de modelagem  
48 preditiva utilizando variáveis ambientais, em escala de abrangência regional, visando a  
49 conservação da espécie.

50

## 51 **2. Material e Métodos**

52

53 O estudo foi conduzido como parte das atividades do projeto “Programa de  
54 conservação do jaborandi nativo da Floresta Nacional de Carajás – *Pilocarpus* spp.  
55 (Rutaceae)”, executado pela Universidade Federal Rural da Amazônia em parceria com  
56 a empresa VALE S.A., Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade  
57 (ICMBio) de Carajás e Cooperativa de Extrativistas de Carajás.

58 O projeto envolveu estudos em fenologia e biologia reprodutiva, produção de  
59 mudas, dinâmica de crescimento e distribuição espacial de *Pilocarpus microphyllus* em  
60 suas populações naturais na Flona de Carajás. O mapeamento das populações de *P.*  
61 *microphyllus* iniciou em 2015 com o objetivo de registrar as áreas de ocorrência natural  
62 da espécie para subsidiar as ações de extrativismo, manejo da espécie e gestão ambiental  
63 da unidade de conservação.

64

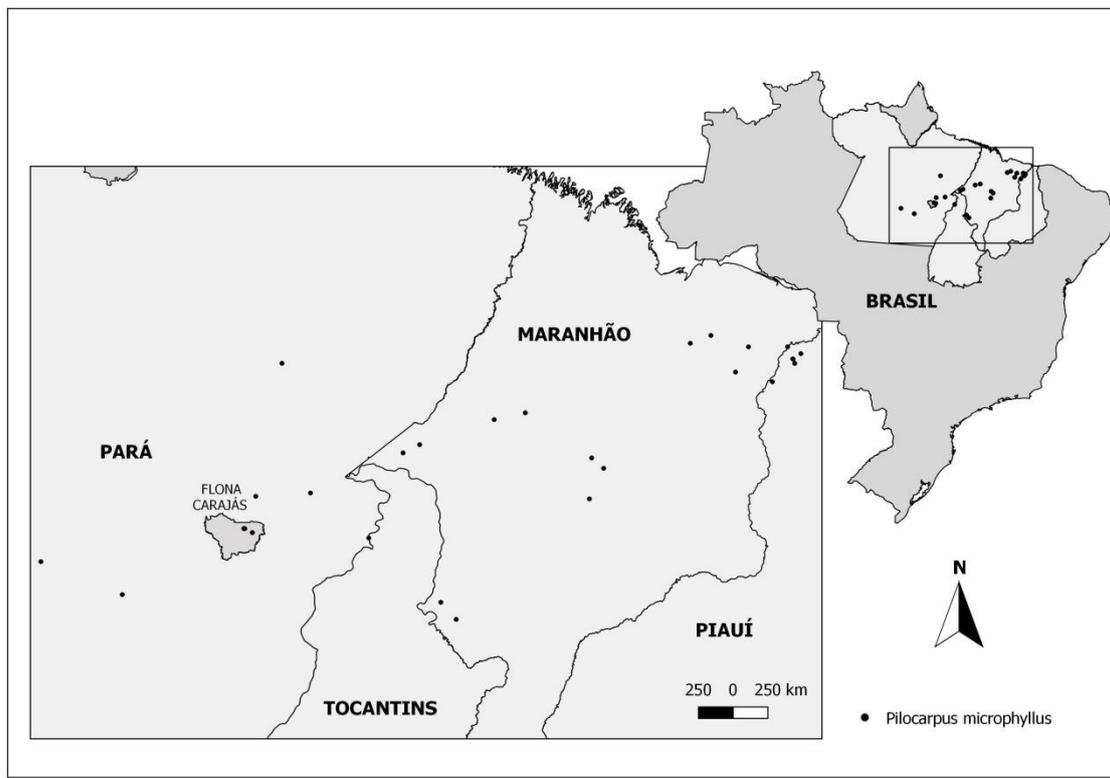
### 65 *Área de Estudo*

66

67 O estudo foi realizado nos estados do Pará, Maranhão e Piauí (Figura 2). No Pará,  
68 a obtenção dos pontos georreferenciados ocorreu na Floresta Nacional de Carajás  
69 (abrange os municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás), Marabá, São Félix do  
70 Xingu, São Geraldo do Araguaia e Tucuruí. No Maranhão os pontos foram obtidos nos  
71 municípios de Açailândia, Arame, Bacabal, Barra do Corda, Buriticupu, Carolina,  
72 Chapadinha, Nina Rodrigues e Santa Quitéria. No Piauí, os municípios que foram  
73 incluídos para obtenção dos pontos foram Mata Roma, Miguel Alves, Porto e Luzilândia.

74 As regiões em que a espécie ocorre, em geral, apresentam clima quente e úmido,  
75 característico de regiões tropicais. Os solos possuem padrões arenosos e em alguns casos  
76 argilosos, sendo os afloramentos rochosos e a presença de minerais é uma característica  
77 marcante na maioria dos locais de ocorrência da espécie. Os solos são de baixa fertilidade,

78 como em solos litólicos, e a vegetação é composta por floresta ombrófila aberta e  
79 transição entre aberta e densa (Marques & Costa, 1994).



80

81 **Figura 2** Localização dos registros de ocorrência de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw nos  
82 estados do Pará, Maranhão e Piauí.

83

#### 84 ***Coleta de dados bióticos***

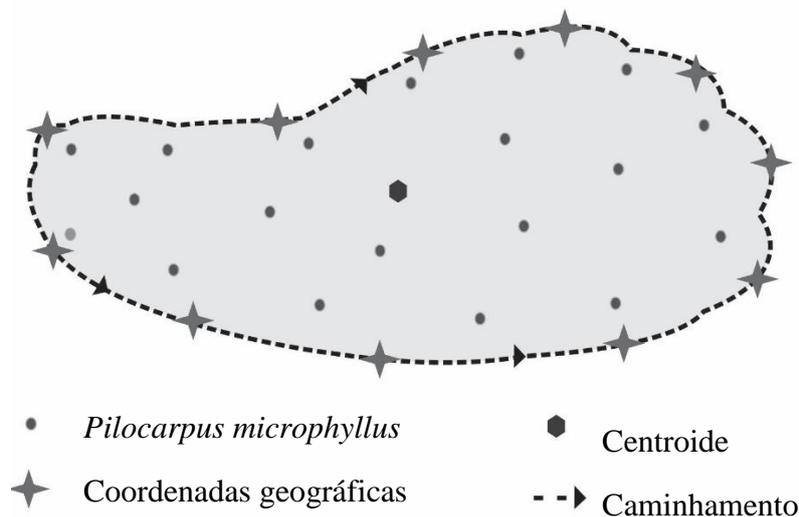
85 *Floresta Nacional de Carajás (Parauapebas e Canaã dos Carajás)*

86

87 Na Floresta Nacional de Carajás foram coletados seis pontos georreferenciados  
88 referentes aos centroides dos agrupamentos ou reboleiras (Costa, 2012) de *P.*  
89 *microphyllus*. As reboleiras foram mapeadas por meio do registro de coordenadas  
90 geográficas em aparelhos de posicionamento global GPS (GARMIN 62 SC) ao entorno  
91 91 das mesmas (Figura 3). Utilizando o sistema de informação geográfica QGIS 2.18.7,

92 extraiu-se a coordenada central (centroide) de cada agrupamento para compor o banco de  
93 dados.

94



95

96 **Figura 3.** Esquema representativo de coleta das coordenadas ao entorno das reboleiras de *Pilocarpus*  
97 *microphyllus* Stapf. ex Wanderw para extração do centroide.

98

### 99 *Demais Localidades*

100

101 No município de São Félix do Xingu (PA), foram coletados dois pontos de  
102 ocorrência de *P. microphyllus*, em Chapadinha (MA), um ponto, em Barra do Corda (MA)  
103 um ponto e em Luzilândia (PI) foram coletados dois pontos.

104

### 105 *Pontos Retirados da Literatura*

106

107 Para compor o banco de dados, também foram utilizadas coordenadas do herbário  
108 virtual Re flora e do sistema de dados primários SpeciesLink (CRIA, 2011). As  
109 coordenadas geográficas de *P. microphyllus* foram obtidas seguindo o seguinte filtro: a)

110 coordenadas da ocorrência real da espécie; b) coordenadas associadas a amostras  
111 botânicas em acervos e que continham o nome do identificador.

112 Após filtragem de todos os pontos registrados nas plataformas de bancos  
113 georreferenciados de dados biológicos (Species Link, Re flora), utilizou-se 20 pontos  
114 distribuídos nos estados do Pará, Maranhão e Piauí.

115 O total de registros, incluindo os centroides, os pontos coletados em outros  
116 municípios e os retirados da literatura que compuseram o banco de dados bióticos, foram  
117 32. Para o processo de modelagem, 22 pontos foram sorteados e os outros 10 pontos  
118 foram separados para a validação dos modelos.

119

## 120 COLETA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

121

122 As variáveis ambientais utilizadas no processo de modelagem para identificação  
123 de áreas com potencial de ocorrência de *P. microphyllus* foram as variáveis bioclimáticas  
124 do WorldClim (Hijmans et al., 2005), Ambdata (Instituto Nacional de Pesquisas  
125 Espaciais, 2013) e SoilGrids (Hengl, 2014) (Tabela 1).

126 Worldclim é um modelo de resolução de 1 km, que utiliza variáveis bioclimáticas  
127 derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação, a fim de gerar variáveis  
128 biologicamente mais significativas. As variáveis bioclimáticas representam médias  
129 anuais de precipitação e temperatura, sazonalidade e limites máximos e mínimos dos  
130 fatores climáticos (por exemplo, temperatura do mês mais frio e mais quente, e  
131 precipitação de chuva e trimestres secos) (Busby, 1986).

132 Ambdata (2013) é uma plataforma que utiliza as variáveis topográficas altitude e  
133 declividade de resolução de 1 km em formato “Shuttle Radar Topographic Mission”  
134 (SRTM) para contribuição em Modelagem de Distribuição de Espécies.

135 SoilGrids é um sistema 3D de informação global do solo a 1 km de resolução,  
 136 contendo previsões espaciais para uma seleção de propriedades do solo, (em seis classes  
 137 de profundidade): carbono orgânico do solo (g kg<sup>-1</sup>), pH do solo, areia, silte e frações  
 138 argila (%), densidade (kg m<sup>-3</sup>), capacidade de troca catiônica (cmol +/- kg), fragmentos  
 139 grossos (%), solo com estoque de carbono orgânico (t ha<sup>-1</sup>), profundidade de terra firme  
 140 (cm), Base de referência Mundial de Solos (WRB) e Departamento de Taxonomia do  
 141 Solo dos Estados Unidos (USDA) (Hengl et al, 2014).

142  
 143 **Tabela 1.** Variáveis ambientais utilizadas na modelagem da distribuição potencial de *Pilocarpus*  
 144 *microphyllus* Stapf. ex Wanderw via WorldClim (Hijmans et al., 2005); Ambdata (INPE, 2013); SoilGrid  
 145 (Hengl, 2014).  
 146

CÓDIGO	VARIÁVEIS AMBIENTAIS	FONTE
BIO 06	Temperatura média do mês mais frio (°C)	WorldClim
BIO 07	Faixa de temperatura anual (mm)	WorldClim
BIO 12	Precipitação anual (mm)	WorldClim
BIO 17	Precipitação da estação seca (mm)	WorldClim
BIO 18	Precipitação da estação fria (mm)	WorldClim
BIO 19	Precipitação da estação quente (mm)	WorldClim
ALT	Altitude (m)	Ambdata
SOLO	Leptosolo lítico	SoilGrids

147

## 148 MODELAGEM PREDITIVA

149

150 A modelagem da distribuição potencial de *P. microphyllus* foi conduzida no  
 151 pacote estatístico R Core Team (2011), por meio da interface Model-R (Lima, 2016). O  
 152 Model-R é uma aplicação para a automatização de processos em análises espaciais e  
 153 ecológicas, que utiliza a linguagem R e o pacote Shiny. A utilização do pacote Shiny  
 154 permite sua execução no ambiente do R-Studio como um aplicativo ou em um servidor  
 155 web. Em ambos os casos o resultado é uma interface web rodando em um navegador.

156 Foram utilizados um algoritmo de envelopes bioclimáticos, um de ajuste  
157 estatístico e um de inteligência artificial, sendo eles o BIOCLIM (Busby, 1991), o  
158 *Generalized Linear Model* – GLM (Wiley & Sons, 2006) e o MaxEnt (Phillips, 2006),  
159 respectivamente.

160 O processo de modelagem foi conduzido em três partições para cada algoritmo,  
161 ao qual, cada partição gerou um modelo e o melhor modelo de cada algoritmo foi  
162 selecionado para validação estatística e para o pós-processamento. Foram criados 1000  
163 pontos (pseudo ausências) por cada algoritmo para a validação do modelo. Utilizou-se o  
164 particionamento do tipo Kfold (Kohavi, 1995), uma técnica de validação cruzada sem  
165 reposição dos dados na geração dos modelos.

166 O pós-processamento consistiu na geração de um modelo consenso a partir da  
167 média dos três melhores modelos, através da utilização da função *Raster Calculator* do  
168 software QGIS 2.18.7. Após a geração do modelo consenso, associou-se as áreas com  
169 alta probabilidade de ocorrência de *P. microphyllus* com as áreas ainda possuem  
170 vegetação e que não estão inseridas em Unidades de Conservação..

171

## 172 CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

173

174 A correlação entre as variáveis foi avaliada pelo Coeficiente de Correlação de  
175 Pearson, que mede o grau e a direção da correlação (se positiva, neutra ou negativa) entre  
176 duas variáveis.

177

## 178 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

179

180 A avaliação dos algoritmos foi realizada por três parâmetros distintos, a análise  
181 ROC (Receiver Operating Characteristics), a TSS (True Skill Statistic) e o coeficiente  
182 Kappa.

183 Análise ROC, calcula a área sob a curva (Area Under Curve (AUC) para medir a  
184 capacidade de um modelo ao discriminar os locais onde uma espécie ocorre, versus os  
185 locais onde a espécie não ocorre. A ROC varia de 0 a 1, onde os valores próximos ao  
186 limite superior (1) indicam predição com melhor desempenho e próximos a mediana (0,5)  
187 implica predição próxima a aleatória (Elith et al., 2006), podendo este valor pode ser  
188 usado para comparações entre diferentes algoritmos porque independe de um limiar de  
189 corte específico.

190 A TSS (True Skill Statistic) é uma alternativa à AUC, sendo um parâmetro  
191 simples e intuitivo para a precisão dos modelos de distribuição de espécies. As previsões  
192 são contrastadas com um conjunto de dados de validação para derivar a sensibilidade do  
193 modelo (proporção de previsões) e especificidade (proporção de ausências com precisão  
194 prevista). A sensibilidade e a especificidade são independentes entre modelos, e são  
195 também independentes da prevalência, ou seja, a proporção em que a espécie foi  
196 registrada como presente (Allouche et al., 2006). A TSS é definida como sensibilidade +  
197 especificidade - 1, e varia de -1 a +1, onde +1 indica perfeita adequação e valores  
198 próximos ou menores de zero indicam um desempenho não melhor do que aleatório.

199 O Coeficiente Kappa pode ser definido como uma medida de associação usada  
200 para descrever e testar o grau de concordância (confiabilidade e precisão) na classificação.  
201 Esta medida de concordância tem como valor máximo o 1, que representa total  
202 concordância. Valores próximos e abaixo de 0, indicam nenhuma concordância ou  
203 concordância exatamente esperada pelo acaso. Um eventual valor de Kappa menor que  
204 zero sugere que a concordância encontrada foi menor do que aquela esperada por acaso.

205 Sugere, portanto, discordância, mas seu valor não tem interpretação como intensidade de  
206 discordância (Perroca & Gaidzinski, 2003).

207

### 208 3. Resultados

209

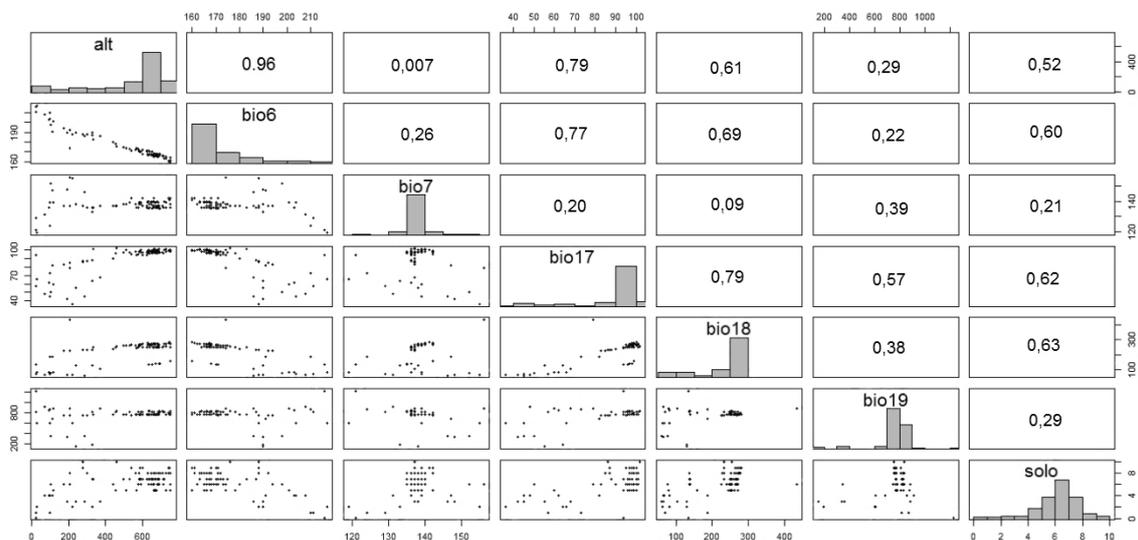
#### 210 CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS

211

212 O Coeficiente de Pearson das variáveis selecionadas para a previsão dos  
213 algoritmos BIOCLIM, GLM e MaxEnt, mostrou que houve uma correlação linear  
214 negativa para o maior valor de correlação (0,96), entre a BIO 06 e ALT (Figura 4)

215 Para a variável SOLO foram registrados os menores valores de correlação com as  
216 outras variáveis (Figura 4), com máxima de 0,63 com a Precipitação da estação fria (BIO  
217 18) e mínima de 0,29 com a Precipitação da Estação Quente (BIO 19).

218



219 **Figura 4.** Matriz de correlação de Pearson para as variáveis utilizadas na modelagem potencial de  
220 *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw utilizando o algoritmo Maxent.

221

#### 222 VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO

223

224 Os algoritmos BIOCLIM, GLM e MaxEnt estimaram a qualidade do modelo,  
225 comparando os pontos da distribuição real com a distribuição potencial de ocorrência de  
226 *P. microphyllus*.

227 Este teste foi composto pelos 22 pontos de ocorrência (Training data) e um sub-  
228 conjunto deste primeiro teste foi escolhido aleatoriamente para testar a capacidade  
229 preditiva do modelo gerado (Teste data).

230 Para estimar numericamente o sucesso dos modelos calculamos a área sob a curva  
231 (AUC), que no caso ideal seria igual a 1, e no pior caso igual a 0,5. Em nossos resultados  
232 para o valor de AUC, obtivemos como melhor validação estatística o modelo gerado pelo  
233 MaxEnt, com 0.880, seguido do GLM com 0.838 e finalizando com BIOCLIM, o modelo  
234 menos adequado para o conjunto de dados com 0,709 (Tabela 2).

235 O mesmo ocorreu para os valores gerados pelo TSS, que também considerou o  
236 MaxEnt o melhor algoritmo e o BIOCLIM o pior, diferente do índice Kappa, que gerou  
237 valores bem inferiores aos dos outros algoritmos (Tabela 2).

238 **Tabela 2.** Índices de validação para o modelo de máxima entropia (Maxent) utilizados na modelagem  
239 potencial de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw. AUC (*Area Under Curve*), TSS – (*True Skill*  
240 *Statistic*) e Índice Kappa.

Algoritmo	AUC	TSS	Kappa
BioClim	0.709	0.417	0.428
GLM	0.838	0.756	0.047
MaxEnt	0.880	0.795	0.402

241

242 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw

243

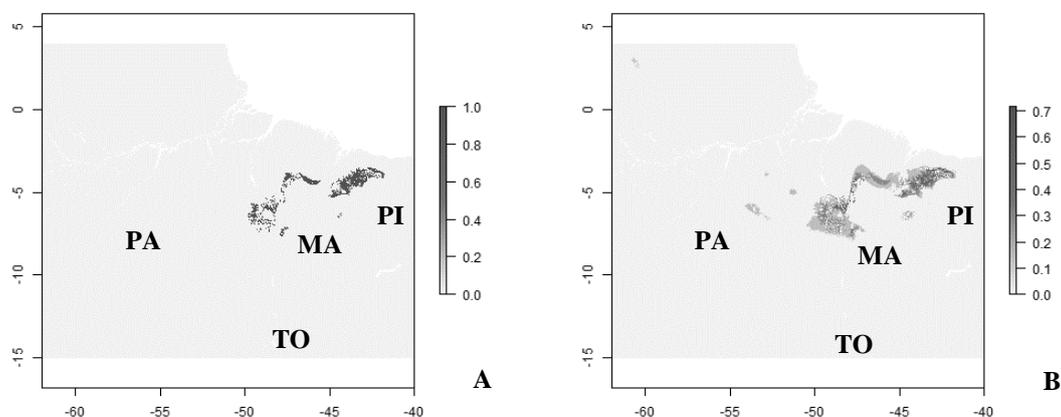
244 Os algoritmos BIOCLIM, GLM e MaxEnt foram configurados para simular 3  
245 modelos cada, sendo selecionado o melhor modelo de cada algoritmo para geração dos

246 mapas de distribuição potencial de *P. microphyllus*, para representarem geograficamente  
247 a modelagem preditiva da espécie.

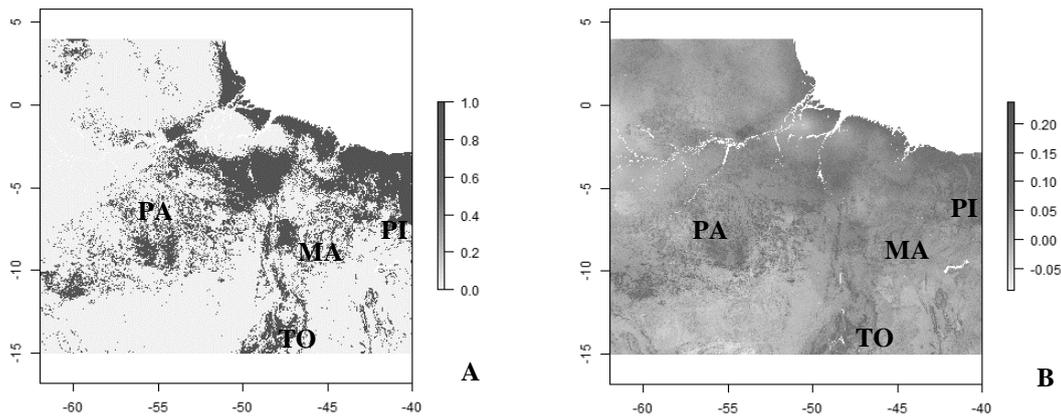
248 O modelo gerado pelo BIOLIM foi o que mais restringiu áreas de distribuição,  
249 inclusive no modelo binário, cujo a característica é somente de presença e ausência  
250 (Figura 5).

251 O GLM gerou um modelo com limites mais abrangentes e descontínuos,  
252 englobando outras áreas que o MaxEnt e o BIOCLIM não identificaram como média  
253 adequabilidade de hábitat a presença do jaborandi, como no nordeste, noroeste e oeste  
254 paraense (Figura 6).

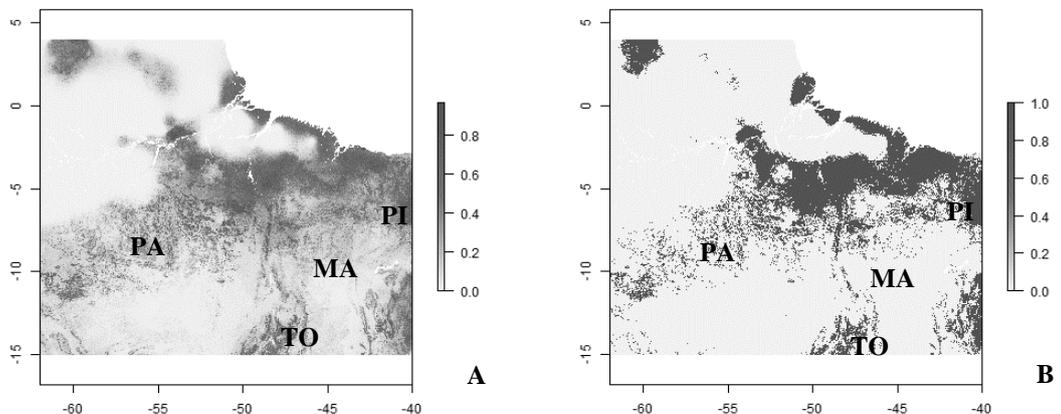
255 O modelo mais adequado foi o gerado pelo MaxEnt, concentrando as áreas com  
256 maior probabilidade de ocorrência na mesma faixa geográfica dos pontos utilizados para  
257 a modelagem. Este modelo não identificou algumas áreas que o GLM considerou de  
258 média ou baixa probabilidade (Figura 7).



**Figura 5.** Modelo binário (A) e modelo contínuo (B) de distribuição de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw gerado pelo algoritmo BioClim.



**Figura 6.** Modelo binário (A) e modelo contínuo (B) de distribuição de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw gerado pelo algoritmo GLM.



**Figura 7.** Modelo binário (A) e modelo contínuo (B) de distribuição de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw gerado pelo algoritmo MaxEnt.

259

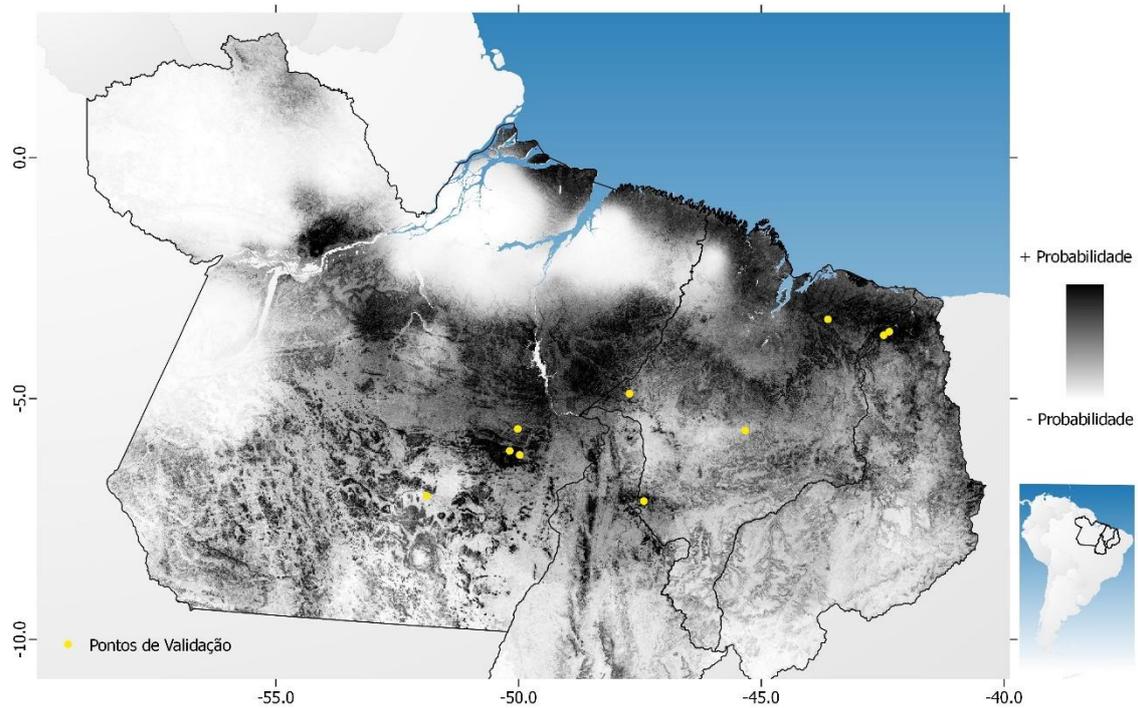
## 260 INDICAÇÃO DE ÁREAS PARA CONSERVAÇÃO

261

262 Os melhores modelos de distribuição de *P. microphyllus*, segundo os parâmetros  
 263 estatísticos AUC, TSS e Índice Kappa, foram gerados pelos algoritmos MaxEnt e GLM.  
 264 Foi gerado o consenso destes dois modelos (aprendizagem de máquina e ajuste estatístico)  
 265 para o pós-processamento e indicação das áreas com alta probabilidade de ocorrência do  
 266 jaborandi e que podem estar passíveis de extinção futura.

267 No pós-processamento, o consenso foi gerado pela média dos modelos aceitos,  
 268 obtendo a média de AUC de 0.859 e a distribuição potencial com 80% de acerto para as

269 áreas com maior probabilidade de ocorrência com os 10 pontos retirados para validação  
270 do modelo final. (Figura 8).

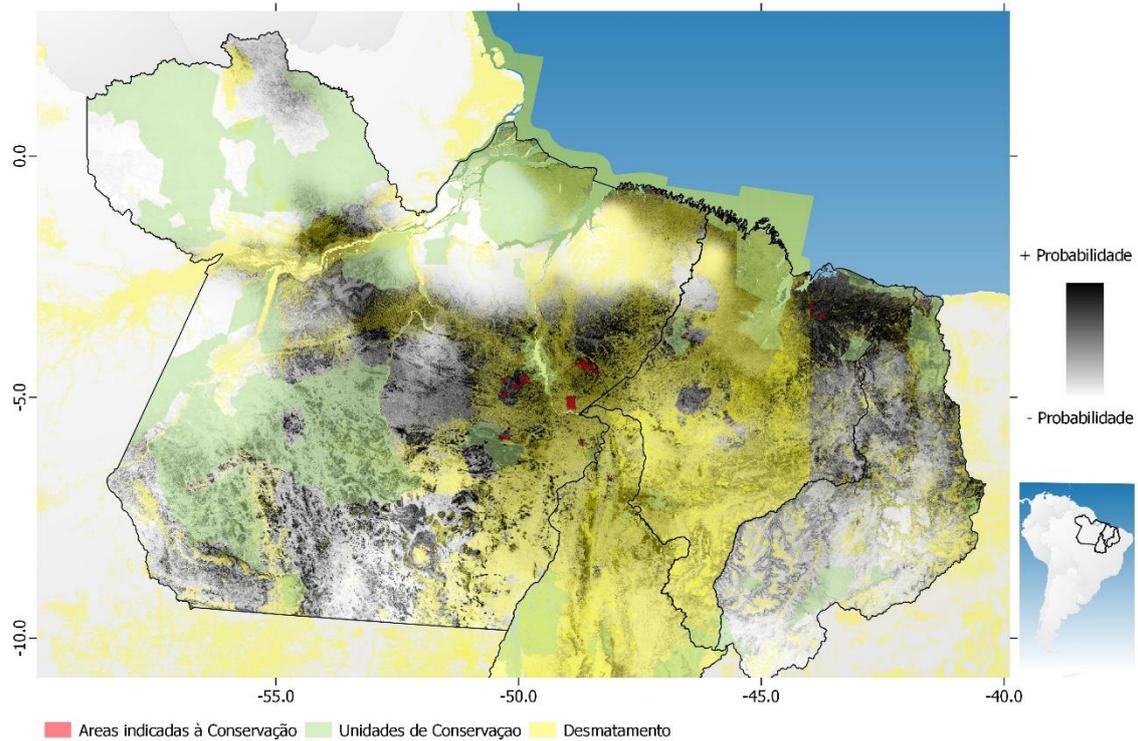


271

272 **Figura 8.** Modelo de distribuição potencial gerado pelo consenso do algoritmo GLM e MaxEnt de  
273 *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw com os pontos (10) plotados para validação de campo.

274 O consenso foi associado as áreas desmatadas na Amazônia monitoradas de 2000  
275 à 2015, bem como na Caatinga e Cerrado até 2008 (Figura 9). Outra associação realizada  
276 foi com as Unidades de Conservação de nível Federal, Estadual e Municipal.

277 As áreas indicadas para a conservação foram demarcadas baseando-se na alta  
278 probabilidade de ocorrência e que ainda possuem vegetação, principalmente as áreas  
279 incluídas no Arco do Desmatamento, ou seja, áreas com alto risco de serem desmatadas  
280 para fins agropecuários.



281

282 **Figura 9.** Áreas com alta probabilidade de ocorrência indicadas a conservação de *Pilocarpus microphyllus*  
 283 Stapf. ex Wanderw com a utilização do Modelo de distribuição potencial gerado pelo consenso do  
 284 algoritmo GLM e MaxEnt associado as Unidades de Conservação e as áreas desmatadas nos biomas de  
 285 ocorrência da espécie.

286 Foram demarcadas 12 áreas com hábitat semelhante ao encontrado nos locais dos  
 287 pontos utilizados para modelagem, totalizando 236.283,23 hectares de vegetação  
 288 indicados a conservação (Tabela 3).

289 **Tabela 3.** Coordenadas geográficas e tamanho (hectares) das 12 áreas indicadas a conservação com alta  
 290 probabilidade de ocorrência de *Pilocarpus microphyllus* Stapf. ex Wanderw.

291

Local	Longitude	Latitude	Área (ha)
1	-48.92085	-51.19890	58890.39
2	-48.59591	-43.72763	54096.16
3	-49.87711	-46.38059	28767.08
4	-43.95249	-32.16711	19772.74
5	-50.05530	-47.88914	17200.41
6	-50.30114	-58.32208	16102.01
7	-50.29986	-49.42134	10518.73
8	-50.29245	-46.41427	9554.99
9	-43.74093	-33.14024	8647.85
10	-48.70273	-59.30858	7525.47

Local	Longitude	Latitude	Área (ha)
11	-48.14926	-66.68976	3728.80
12	-48.22074	-70.79610	1478.60

292

#### 293 4. Discussão

294

295 As variáveis BIO 06 e ALT possuíram menor importância na modelagem, gerando  
296 um gráfico de pontos com correlação bem acentuada, ou seja, são estatisticamente  
297 dependentes (Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2009).

298 A baixa correlação da variável SOLO com conjunto de variáveis pode estar  
299 associada a origem categórica desta variável, enquanto que as outras são contínuas,  
300 indicando também que para *P. microphyllus* o solo pouco se relaciona, pelo menos em  
301 um curto período tempo, com as variáveis bioclimáticas.

302 As boas práticas da modelagem preditiva de espécies usam variáveis pouco  
303 correlacionadas, pois o modelo pode depender das correlações de forma não evidentes  
304 (Phillips et al. 2004), o que foi demonstrado nas variáveis utilizadas para a modelagem  
305 de *P. microphyllus*.

306 Bons resultados estatísticos para modelos de distribuição de espécies retornam  
307 valores acima de 0,75 (Phillips, et al., 2006), o que desclassifica o modelo gerado pelo  
308 BIOCLIM, que considerou pequena a quantidade de pontos de amostragem verdadeiros  
309 utilizados, inferindo em uma pequena área predita pelo modelo.

310 Quanto mais pontos de amostragens verdadeiros forem estimados com a menor  
311 área predita, melhor é o modelo estatístico. No melhor caso tem-se que todas as amostras  
312 são preditas com a área tendendo a zero, e no pior caso que as amostras são preditas  
313 linearmente com o crescimento da área.

314 A estatística TSS, apesar de valores inferiores, mas aceitáveis para um bom  
315 modelo, considerou a mesma ordem de precisão dos modelos que AUC, por ser uma

316 alternativa a área sob a curva com a utilização de parâmetros de sensibilidade. (Allouche  
317 et al., 2006).

318 O índice Kappa não validou estatisticamente nenhum modelo para modelagem de  
319 *P. microphyllus* por considera-los mais próximos do acaso, ou seja, uma modelagem não  
320 adequada (Perroca & Gaidzinski, 2003).

321 Os mapas obtidos evidenciam um padrão semelhante ao constatado na literatura  
322 (Martinelli et al., 2013), onde a distribuição de *P. microphyllus* abrange os biomas  
323 Amazônico, Caatinga e Cerrado. Nos três modelos os algoritmos identificaram outras  
324 áreas de adequabilidade ao nicho da espécie.

325 A restrição do BIOCLIM ocorreu provavelmente por construir um envelope  
326 climático com base nos valores mínimo e máximo para cada variável empregada, e a  
327 variável SOLO pode ter influenciado para essa limitação de áreas, visto que a amplitude  
328 da variável categórica foi somente 12 para os valores mínimos e máximos, fazendo com  
329 que o algoritmo encontrasse no espaço geográfico poucos locais considerados adequados  
330 para a espécie ocorrer (Casseiro et al., 2012)

331 A maior abrangência do GLM ocorreu por uma característica do próprio  
332 algoritmo, que só para as interações estabelecidas quando atingirem seu máximo (0,1)  
333 (Iwashita, 2008), além de que, o algoritmo pode considerar variáveis em excesso,  
334 podendo ser vantajoso para algoritmos não estatístico. Contudo, estas variáveis podem  
335 estar correlacionadas ou não aumentarem significativamente a explicação sobre a  
336 variação dos dados (Guisan et al., 2002).

337 O MaxEnt obteve os melhores resultados para o conjunto de dados, aproximando  
338 a faixa de maior probabilidade com a distribuição realizada com dados altimétricos  
339 descrita por Martinelli & Moraes (2013) para *P. microphyllus*. Além disso, o MaxEnt

340 identificou áreas ao sul do Pará que o modelo de Albernaz & Avila-Pires 342 (2009)  
341 gerado para espécie com as 19 variáveis do WorldClim não identificou.

342 As áreas indicadas à conservação estão localizadas no chamado —Arco do  
343 Desmatamento, cujos limites se estendem do sudeste do estado do Maranhão, ao norte do  
344 Tocantins, sul do Pará, norte de Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e sudeste do  
345 Acre (Ferreira et al., 2005).

346 A aplicação dos modelos gerados nesta pesquisa possibilita conservar *P.*  
347 *microphyllus* nas áreas indicadas, onde atividades de exploração florestal/supressão  
348 vegetal/desmatamento serão praticamente inexistentes. Através do planejamento  
349 sistemático destas áreas, gerará condições de gerenciamento e manejo corretos para  
350 manutenção da espécie.

351

## 352 **5. Considerações Finais**

353

354 As áreas com nicho semelhante ao de *Pilocarpus muicrophyllus* encontradas nos  
355 locais com alta probabilidade de ocorrência que ainda contém algum tipo vegetacional,  
356 podem ser importantes na gestão deste recurso, principalmente no estabelecimento destas  
357 áreas como prioritárias para conservação.

358 Com os resultados desta pesquisa, abrem-se possibilidades para novos estudos,  
359 principalmente a partir da validação local destas áreas e a perspectiva da saída da espécie  
360 das listas de flora ameaçadas de extinção. A criação de novas unidades de conservação  
361 irá gerar perspectiva da saída de *P. microphyllus* das listas de espécies ameaçadas de  
362 extinção e possibilitará a formação de cooperativas e associações de extrativistas, que  
363 com o manejo de coleta adequado estarão contribuindo com manutenção destas da  
364 espécie.

365 Sugere-se a utilização dos resultados desta pesquisa por instituições e órgãos  
366 ambientais para garantir a conservação de *Pilocarpus microphyllus*, o qual é um recurso  
367 de alta importância social e econômica.

368

## 369 **6. Referências**

370

371 ALLOUCHE, O et al, 2006. Assessing the accuracy of species distribution models:  
372 prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223–  
373 1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>

374

375 AMBDATA, 2013. Variáveis ambientais para Modelos de Distribuição de Espécies  
376 (SDMs). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:  
377 <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata>>. Acesso em: 25 Abr. 2016.

378

379 ALBERNAZ, A. L. K. M. & AVILA-PIRES, T. C. S., 2009. Livro Espécies ameaçadas  
380 de extinção e áreas críticas para biodiversidade no Pará. Museu Paraense Emílio Goeldi  
381 & Conservação Internacional. 60 p.

382

383 BRASIL, 2008. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instrução Normativa N°. 06 de  
384 23 de setembro de 2008. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de  
385 extinção. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, Seção 1,  
386 145(185): 75-83.

387

388 BUSBY, J. R., 1986. Bioclimatic Prediction System (BIOCLIM). User's Manual Version  
389 2.0, Australian Biological Resources Stud Leaflet, Canberra.

390

391 CASSEMIRO, F. A. S. et al, 2012. Distribuição de *Rhinella granulosa*: integrando  
392 envelopes bioclimáticos e respostas ecofisiológicas. Revista da Biologia. 8: 38-44.  
393

394 COSTA, F. G., 2012. Os folheiros do jaborandi: organização , parcerias e seu lugar no  
395 extrativismo amazônico. Tese de Doutorado, UFPA, Belém. 198.  
396

397 CRIA (Centro de Referência e Informação Ambiental), 2011. Specieslink - simple search.  
398 Disponível em <http://www.splink.org.br/index>. Acesso em: 07 Mai. 2016  
399

400 DAVIS, A. J. et al., 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in  
401 response to global warming. Nature. 391: 783-786. <https://doi.org/10.1038/35842>  
402

403 ELITH J. et al., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from  
404 occurrence data. Ecography, 29: 129-151. [http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0906-](http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x)  
405 [7590.04596.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x)  
406

407 FERREIRA, G. C. Modelagem ambiental de espécies de árvores no Vale do Jari, Monte  
408 Dourado, Pará usando dados de inventário florestal. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro,  
409 RJ. 204 p, 2009.  
410

411 FERREIRA, L. V. et al, 2005. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas  
412 protegidas. Estudos Avançados. 19 (53): 157 – 166.  
413

414 FIGUEIREDO FILHO D. B & DA SILVA JÚNIOR, J. A, 2009. Desvendando os  
415 Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Universidade Federal de  
416 Pernambuco (UFPE). Revista Política Hoje, 18(1): 115-146.  
417

418 GUIBAN, A. et al, 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies  
419 of species distributions: setting the scene. Ecological Modelling.,157(2): 89-100.  
420

421 HENGL, T. et al., 2014. SoilGrids1km — Global Soil Information Based on Automated  
422 Mapping. PLoS ONE 9(8): e105992. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>  
423

424 HIJMANS, R. J. et al., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global  
425 land areas. International Journal of Climatolog., 25: 1965–1978.  
426 <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1276>  
427

428 HOMMA, A. K. O., 2003. O Extrativismo de Folhas de Jaborandi no Município de  
429 Parauapebas, Estado do Pará, Documentos 184. Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1577-  
430 2207.  
431

432 IWASHITA, F., 2008. Sensibilidade de Modelos de Distribuição de Espécies a Erros de  
433 Posicionamento de Dados de Coleta. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos  
434 Campos. 103p  
435

436 ISSU/ISRIC/FAO, 1998. World reference base for soil resources. World Soil Resources  
437 Reports 84. FAO, Rome.  
438

439 MARTINELLI, G. & MORAES, M., 2013. Livro vermelho da flora do Brasil. Instituto  
440 de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100. [https://doi.org/10.1007/s13398-](https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2)  
441 014-0173-7.2  
442

443 MARQUES, M.E. T. & COSTA, J. P. C., 1994. Jaborandi (*Pilocarpus microphyllus*).  
444 Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia Oriental, Recomendações Básicas 27, 4.  
445

446 MUKAKA, M. M., 2012. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical  
447 research. Malawai Medical Journal, 24(3): 69–71.  
448

449 PASTORE JUNIOR, F. & BORGES, V. L., 1999. Extração florestal não-madeireira na  
450 Amazônia: armazenamento e comercialização. Brasília: IITO: Funatura: Ibama: 1m 13.  
451 73 p.  
452

453 KOHAVI, R., 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation  
454 and model selection. International joint Conference on artificial intelligence. 2: 1137–  
455 1145.  
456

457 LIMA, R. O., 2016. Desenvolvimento de programas para automatização de processos em  
458 análises espaciais e ecológicas no ambiente R. Dissertação de Mestrado. Instituto de  
459 Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 57 p.  
460  
461

462 PEARSON, R. G. & DAWSON, T. P., 2003. Predicting the impacts of climate change on  
463 the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and*  
464 *Biogeography*, 12(5): 361–371. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>  
465

466 PERROCA, M. G. & GAIDZINSKI, R. R., 1998. Sistema de classificação de pacientes:  
467 construção e validação de um instrumento. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*,  
468 32(2):153-68. <http://dx.doi.org/10.1590/S0080-62341998000200009>.  
469

470 PHILLIPS, S. J et al, 2004. A maximum entropy approach to species distribution  
471 modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, ACM  
472 Press, New York, 655–662.  
473

474 PHILLIPS, S. B. et al, 2006. Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen  
475 deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2–  
476 3): 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>  
477

478 R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011. *R: A language and environment for statistical*  
479 *computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-  
480 07-0, URL <http://www.R-project.org/>.  
481

482 WILEY, J. & SONS, 2006. *Generalized Linear Model*. *Encyclopedia of Statistical*  
483 *Sciences*, 01 - 03.  
484  
485