



MONIK BEGNAME DE CASTRO

**VULNERABILIDADE CLIMÁTICA DA *Araucaria*
angustifolia NA MATA ATLÂNTICA**

LAVRAS - MG

2015

MONIK BEGNAME DE CASTRO

**VULNERABILIDADE CLIMÁTICA DA *Araucaria angustifolia* NA
MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, área de concentração em
Ciências Florestais, para obtenção do
título de Mestre.

Orientadora:

Dr^a. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa

Coorientadora:

Dr^a. Patrícia Vieira Pompeu

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

de Castro, Monik Begname.

Vulnerabilidade climática da *Araucaria angustifolia* na Mata Atlântica / Monik Begname de Castro. – Lavras : UFLA, 2015.

65 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Ana Carolina Maioli Campos Barbosa.

Bibliografia.

1. pinheiro-brasileiro. 2. aquecimento global. 3. modelagem de nicho ecológico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

MONIK BEGNAME DE CASTRO

**VULNERABILIDADE CLIMÁTICA DA *Araucaria angustifolia* NA
MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, área de concentração em
Ciências Florestais, para obtenção do
título de Mestre.

APROVADA em 5 de Novembro.

Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi UFLA

Rosângela Alves Tristão Bórem UFLA

Anderson Alves Santos IF Formiga

Dr.^a Ana Carolina Maioli Campos Barbosa
(Orientadora)

LAVRAS – MG

2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo presente da vida e todas as outras dádivas concedidas.

Aos meus pais, Adílio e Nilva, pelo carinho, amizade, compressão, ensinamentos, companheirismo e por me proporcionarem o bem mais valioso que qualquer ser humano pode ter, a educação.

Agradeço aos meus irmãos, Paulo Alberto e Lara, pelo amor incondicional, pelo carinho e atenção que sempre me dedicaram.

Agradeço à minha querida orientadora, professora Dr^a. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa, pela paciência, convivência e orientação.

À minha coorientadora Dr^a. Patrícia Vieira Pompeu pelo apoio e atenção no desenvolvimento desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro ao projeto n^o CRA – APQ 01960/12.

À Fundação Grupo Boticário, pelo apoio financeiro ao projeto “Fenologia e reconstrução do crescimento de *Araucaria angustifolia* na RPPN Alto Montana, APA da Mantiqueira” n^o 1015/20142.

Ao Inácio, pelos ensinamentos no ArcGis.

Às amigas de república, Giovanna e Fernanda, por compartilharem as alegrias e angústias.

Às amigas de república do coração, Andressa, Nathália e Tayrine, pela amizade e por sempre me receberem tão bem.

Ao Gabriel, meu companheiro de laboratório, por toda ajuda e amizade.

A todos os amigos pelo apoio e incentivo que direta ou indiretamente influenciaram esse trabalho.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

A Floresta com Araucária ou Floresta Ombrófila Mista está entre as formações florestais mais críticas dos neotrópicos. Além da enorme perda de habitat, as mudanças climáticas representam um desafio a mais para a sobrevivência das populações remanescentes que se encontram altamente fragmentadas e dispersas. A presente pesquisa utilizou a modelagem preditiva de distribuição de espécies para estimar a vulnerabilidade climática da *Araucaria angustifolia* no domínio da Mata Atlântica, buscando compreender quais são os principais fatores ambientais determinantes para a ocorrência da espécie e mapear o efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição potencial das Florestas com Araucária e sua representação em áreas protegidas. Para a modelagem, utilizou-se o princípio da máxima entropia (Maxent, 3.3.3k.) com uma base de dados composta de 200 pontos de ocorrência natural da espécie e doze camadas bioclimáticas. Foram realizadas três modelagens, uma para o clima atual (1950 a 2000) e duas projeções climáticas (2061 a 2080) para os cenários futuros de emissão de CO₂ RCP 4.5 e RCP 8.5 utilizando o modelo climático HadGEM2-ES. Todos os modelos apresentaram bom AUC e baixos erros de omissão. A área adequada predita pelo modelo no tempo presente foi condizente com a real distribuição da espécie, sendo determinada por fatores climáticos, principalmente a temperatura média do trimestre mais frio, isotermalidade e precipitação do trimestre mais seco. A tendência apresentada para cenários futuros foi de confinamento da *A. angustifolia* nas partes altas do planalto sul brasileiro, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira. O papel dessas áreas como refúgio climático interglacial é discutido. As áreas protegidas deverão priorizar as regiões serranas para impedir maiores perdas de habitat, na tentativa de uma conservação in situ da espécie.

Palavras-chave: Pinheiro-brasileiro. Macrorrefúgio. Aquecimento global. Risco de extinção. Modelagem de nicho ecológico. Envelope climático.

ABSTRACT

The Forest with Araucaria, Mixed Ombrophilous Forest or Araucaria Rainforest is among the most critical forest formations of neotropics. Besides the large habitat loss, the climate changes represent an additional challenge to the survival of remaining populations that are highly fragmented and dispersed. This study used a predictive modeling of species distribution to estimate the climatic vulnerability of *Araucaria angustifolia* in the Atlantic Forest domain, searching for understanding the main environmental factors to occurrence of the specie and mapping the effect of climate changes about the potential distribution of Forest with Araucaria and their representation in protect areas. It was used the principle of maximum entropy (Maxent, 3.3.3k.) to the modeling, with a data of 200 points of natural occurrence of the specie and twelve bioclimatic layers. Three modeling were calculated, one to current climate (1950 to 2000) and two climate projections (2061 to 2080) to future scenarios of emission of CO₂ RCP 4.5 e RCP 8.5. All modeling showed good AUC and low errors of omission. The predicted suitable area by current climate modeling agree with the real specie distribution, and it was determined by climate factors, mainly the average temperature of the coldest quarter, isothermality and precipitation of the driest quarter. The tendency for future scenarios showed restriction of *A. angustifolia* in the high regions of Brazilian southern plateau, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira. The role of these areas as interglacial climate refuge is discussed. The protected areas should prioritize the highlands to prevent higher losses of habitat, attempting to *in situ* conservation of the specie.

Keywords: Brazilian pine. Macro refuge. Global warming. Risk of extinction. Ecological niche modeling. Climate envelope.

LISTA DE SIGLAS

AUC – Área sobre a curva

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais

RCP – *Representative Concentration Pathways*

UCs – Unidades de Conservação

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição dos pontos de ocorrência da <i>Araucaria angustifolia</i> , ao longo da sua área natural de ocorrência, Mata Atlântica, de acordo com a delimitação do IBGE.....	25
Figura 2 - Adequabilidade de ocorrência da <i>Araucaria angustifolia</i> no presente e nos cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.8 para o ano de 2070 utilizando o modelo climático HADGEM2-ES.	32
Figura 3 - Curvas de resposta geradas para essas variáveis climáticas de maior importância para a modelagem da distribuição potencial da <i>Araucaria angustifolia</i> . (Bio 11) Temperatura média do trimestre mais frio; (Bio 17) Precipitação média do trimestre mais seco e (Bio 08) Temperatura média do trimestre mais úmido.	34
Figura 4 – Sistemas orográficos com áreas de Florestas com Araucária previstas para o ano de 2070 (cenário RCP8.5). Unidades de conservação estão representadas em polígonos com contorno preto. Os gráficos representam a relação de áreas não protegidas e áreas de UC para cada macrorregião.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de confusão, onde a e d são previsões corretas; b é erro de sobreprevisão (falsos positivos) e c é erro de omissão (falsos negativos).	22
Tabela 2 - Descrição das variáveis climáticas do <i>Worldclim</i>	28
Tabela 3 - Fonte e descrição das variáveis abióticas selecionadas para o modelo principal com correlação de Pearson, maior que 0,8.....	29
Tabela 4 - Tabela 4: Unidades de conservação que contém área predita de presença da <i>Araucaria angustifolia</i> para o ano de 2070 (cenário RCP8.5).	37

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	Área de estudo	23
3.2	Banco de dados e modelagem preditiva de distribuição.....	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Resultados	31
4.2	Discussões.....	38
4.2.1	Distribuição atual da Floresta com Araucária: agentes determinantes	38
4.2.2	Áreas ocupadas por <i>A. angustifolia</i> : refúgios climáticos ou populações relictuais?.....	40
4.2.3	Áreas de proteção ambiental e conservação das Florestas com Araucária.....	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E AÇÕES FUTURAS	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXO.....	61

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior cobertura de florestas tropicais do mundo, abrigando uma imensa diversidade biológica, o que faz do país o principal entre os demais detentores de megadiversidade do planeta. Apesar de toda essa riqueza natural, domínios como a Mata Atlântica, que detêm um dos mais altos graus de riqueza de espécies (1-8% das espécies do mundo), e uma das mais altas taxas de endemismo de plantas, insetos, mamíferos e aves, têm sofrido uma perda enorme de habitat e encontram-se em estágios avançados de devastação (GOERCK, 1997; LOBO, 2003; MYERS et al., 2000; THOMAS et al., 1998).

A Mata Atlântica possui um histórico de mais de 500 anos de degradação. Atualmente existem menos de 15% de sua extensão original, sendo que seus remanescentes são na maioria compostos de pequenos fragmentos (<50 ha) isolados (LIMA et al., 2015; RIBEIRO et al., 2009). Apesar de ser um *hotspot* de biodiversidade, termo que designa áreas com alta riqueza de espécies associada a uma perda de habitat superior a 70% (MYERS et al., 2000), a Mata Atlântica continua a ser desmatada a uma taxa de 20.000 ha por ano (SOS MATA ATLÂNTICA, 2015). É, portanto, uma das regiões mais ameaçadas do mundo (MITTERMEIER et al., 1998; MYERS et al., 2000), sendo considerada por diversos especialistas como uma das prioridades para a conservação (MITTERMEIER et al., 2004; MYERS et al., 2000).

Das formações florestais mais críticas, entre as demais que compõem a Mata Atlântica, encontra-se a Floresta Ombrófila Mista, mais conhecida como Floresta com Araucária (LOBO, 2003). Essa fitofisionomia é encontrada nos Neotrópicos, sendo caracterizada pela ocorrência da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, uma conífera endêmica da América do Sul e fortemente ameaçada devido ao histórico de ampla utilização de sua madeira e exploração maciça. Em contraste com as grandes áreas de florestas com araucária do passado,

aparentemente inesgotáveis, hoje a *A. angustifolia* é encontrada em áreas reduzidas, sob considerável pressão, pois estão localizadas em áreas densamente povoadas. Conforme a Lista Vermelha de Espécies ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza (THOMAS, 2014), a espécie é classificada como “criticamente em perigo”. Além da considerável perda de habitat, as mudanças climáticas, recentes e futuras previstas, representam um desafio a mais para a sobrevivência das populações remanescentes (BACKES, 2009; SILVEIRA-WREGE et al., 2007).

Uma das maneiras de se avaliar as consequências das mudanças climáticas sobre a área de ocorrência de uma espécie é por meio dos modelos preditivos de distribuição de espécies, também chamados de modelos bioclimáticos (COSTA; CARNAVAL; TOLEDO, 2012; HIJMANS; GRAHAM, 2006; OLIVEIRA; CASSEMIRO, 2013). Estes modelos partem do princípio de que as variáveis ambientais da área de estudo representam uma aproximação ambiental do nicho de determinada taxa, grupo de espécies ou ecossistema (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006), combinando dados de ocorrência com os respectivos dados edafoclimáticos para identificar áreas com condições ambientais adequadas (áreas potenciais) para a sobrevivência da espécie (ELITH; LEATHWICK, 2009; FRANKLIN, 2010; GUIBAN; THUILLER, 2005; PEARSON, 2007).

Os modelos preditivos de distribuição de espécies permitem mapear as alterações na disponibilidade de áreas com condições ambientais adequadas para a ocorrência de determinada espécie ou grupo de espécies, frente às alterações no clima (PAGLIA et al., 2012). Por considerar a distribuição espacial potencial em cenários futuros, essa ferramenta tem-se mostrado útil no planejamento de ações de conservação, a partir da indicação de áreas prioritárias (NÓBREGA; MARCO JUNIOR, 2011), chamando a atenção para espécies ou ecossistemas ameaçados (MARINI et al., 2009). Modelagens da distribuição espacial da *A. angustifolia*, e

consequentemente das Florestas com Araucária podem fornecer informações indispensáveis sobre a vulnerabilidade climática dessa espécie e gerar subsídios para medidas de conservação das populações existentes.

A presente pesquisa utilizou a modelagem preditiva de distribuição de espécies para estimar a vulnerabilidade climática da *Araucaria angustifolia* no domínio da Mata Atlântica, área de ocorrência natural da espécie, buscando responder às seguintes perguntas:

- i) Quais são os principais fatores ambientais que determinam a adequabilidade de ocorrência da *A. angustifolia*?
- ii) Qual será a extensão dos impactos das mudanças climáticas sobre a extensão das Florestas com Araucária, comparando sua ocorrência atual potencial com sua ocorrência potencial frente aos cenários futuros?
- iii) As regiões montanhosas poderão funcionar como refúgio climático para as populações remanescentes?; e
- iv) A configuração atual das áreas de conservação ambiental será eficiente para a conservação *in situ* dessa espécie e ecossistema?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Florestas com Araucária e *Araucaria angustifolia*

A Floresta com Araucária, também denominada de Floresta Ombrófila Mista é uma fitofisionomia do Domínio da Mata Atlântica. Essa fitofisionomia é caracterizada pela presença da araucária, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, também conhecida como pinheiro-do-paraná ou pinheiro brasileiro. Essa gimnosperma arbórea é endêmica dos Neotrópicos, sendo a única representante da família Araucariaceae no Brasil (DUTRA; STRANZ, 2009).

A araucária se destaca das demais espécies do dossel pelo seu aspecto proeminente nas matas (elevada altura, arquitetura típica e abundância), conferindo a esses ecossistemas uma estrutura bem definida e distinta. É uma espécie dioica e perenifólia, podendo atingir 50 m de altura e 2,5 m de diâmetro (BACKES; IRGANG, 2002), ocorrendo na forma de agrupamentos quase homogêneos, nas formações do sul do país (LORENZI, 1992), ou de forma mais esparsa em latitudes menores.

Como resultado da intensa pressão exploratória que sofreu ao longo de várias décadas, estima-se que apenas cerca de 3% (BAUERMANN; BEHLING, 2009) da cobertura original da formação tenham restado (CARLUCCI et al., 2011). O motivo de tal devastação deve-se ao fato de a *A. angustifolia* e algumas espécies associadas terem representado a principal fonte madeireira do Brasil durante grande parte do século XX (HUECK, 1972; KOCH; CORRÊA, 2002). Atualmente, a espécie é considerada “criticamente em perigo” na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (THOMAS, 2014), “ameaçada de extinção” na Lista Oficial do IBAMA (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 2008) e nos Estados de São Paulo e Rio Grande do Sul (RIO GRANDE

DO SUL, 2002; SÃO PAULO, 2004), "vulnerável à extinção" em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 1997), classificada como "rara" em Santa Catarina (KLEIN, 1990) e "regionalmente extinta" no Espírito Santo (SIMONELLI; FRAGA, 2007).

As florestas com araucária compõem um tipo de vegetação característica do Planalto Meridional, área essa considerada o seu atual "clímax climático", contudo esta floresta apresenta disjunções florísticas nas Serras do Mar e Mantiqueira. Ocorrem em altitudes que variam de 200 m (31° 30' S) no extremo sul até mais de 1.500 m (22° S) na Serra na Mantiqueira, compensando, portanto, em altitude, sua menor latitude (BACKES, 2009). As áreas que são hoje ocupadas pela Floresta com Araucária estão sob considerável pressão devido à expansão urbana, agrícola e ao uso dos recursos naturais. Outra ameaça à sobrevivência das populações de araucária são as alterações climáticas (SILVEIRA-WREGE et al., 2014).

A paleontologia sugere que as Araucariaceae apresentaram alta sensibilidade às alterações de clima e da geografia dos últimos 200 milhões de anos. Nesse sentido, a resposta das coníferas austrais, em especial da *A. angustifolia*, envolveu uma especialização cada vez maior para a vida em zonas menos favoráveis e mais elevadas, desde que com alguma umidade atmosférica. Essa estratégia garantiu a sobrevivência e incremento na diversidade, contudo também restringiu gradativamente sua área de abrangência e sua quantidade (DUTRA; STRANZ, 2009).

Segundo Backes (2009), o padrão de distribuição atual da *A. angustifolia* é característico de espécies dominadas, uma vez que as condições climáticas atuais favorecem as espécies latifoliadas tropicais (dominantes), aumentando seu poder competitivo em relação às coníferas. Contudo, à medida que as condições de sítio se tornam menos favoráveis (como ocorrência de fogo, geadas e baixas temperaturas), as espécies tropicais perdem progressivamente seu poder competitivo, deixando espaço para a araucária. Por outro lado, as tendências de

alterações climáticas provocadas pelo aquecimento global poderiam confinar cada vez mais a espécie em áreas progressivamente menores, comprometendo ainda mais a presença da Floresta com Araucária no sul e sudeste brasileiro. Nesse caso, a tendência esperada de migração dessa espécie no seu limite norte de ocorrência (menores latitudes) será seu estabelecimento em altitudes cada vez maiores, salvo quando limitada por exigências edáficas e de umidade.

Modelagem preditiva de distribuição de espécie

A modelagem preditiva de distribuição de espécies tem sido amplamente utilizada para diversos fins: conservação de espécies raras ou ameaçadas (ENGLER; GUIBAN; RECHSTEINER, 2004); reintrodução de espécies (HIRZEL et al., 2002); perda de biodiversidade (POLASKY; SOLO, 2001); impactos de mudanças climáticas (ARAÚJO et al., 2008; MEYNECKE, 2004; PETERSON et al., 2002; PETERSON; PAPES; KLUZA, 2003; THOMAS et al., 2004; WIENS et al., 2009; WILLIAMS; BOLITHO; FOX, 2003); avaliação do potencial invasivo de espécies exóticas (PETERSON et al., 2006; PETERSON; PAPES; KLUZA., 2003; PETERSON; ROBINS, 2003; SUTHERST; MAYWALD; RUSSELL, 2000; UNGERER; AYRES; LOMBARDERO, 1999); auxílio na determinação de áreas prioritárias para conservação (CHEN, 2009; CHEN; PETERSON, 2002; ORTEGA-HUERTA; PETERSON, 2004), entre outros. Esta ferramenta de análise nos permite adquirir ou aprofundar o conhecimento existente sobre as espécies e auxiliar em sua proteção e conservação (GIANNINI et al., 2012).

Os primeiros modelos de distribuição de espécies surgiram na década de 1970 baseados na teoria do nicho ecológico (AUSTIN, 2002) e mantêm o mesmo princípio geral desde então.

A teoria do nicho ecológico é o principal fundamento para o desenvolvimento de modelos preditivos de distribuição de espécies (PETERSON, 2011) considerando que indivíduos de uma mesma espécie respondem a um conjunto de recursos e condições que definem sua distribuição (GRINNELL, 1917; HUTCHINSON, 1957).

Segundo Hutchinson (1957), o termo nicho ecológico é definido por “maneiras pelas quais tolerâncias e necessidades interagem na definição de condições e recursos necessários a um indivíduo (ou espécie) a fim de cumprir o seu modo de vida”. Ou seja, nicho ecológico é o conjunto de condições e recursos nos quais os indivíduos de uma espécie são capazes de sobreviver, crescer e reproduzir (MAGALHÃES, 2013).

De acordo com Soberón e Peterson (2005), a distribuição espacial de uma espécie está relacionada a quatro fatores principais:

- a) Fatores abióticos – condições ambientais que limitam a capacidade de sobrevivência e reprodução da espécie em determinada região (por exemplo: aspecto do clima, meio físico, condições edáficas, etc.);
- b) Fatores bióticos – Conjunto de interação com outras espécies que influenciam na sobrevivência da espécie em estudo, como competição, parasitismo, predação, mutualismo, etc.;
- c) Fatores de acessibilidade – Relacionados à capacidade de dispersão, que refletem quais locais são acessíveis para indivíduos de uma determinada espécie (importante para distinguir distribuição atual e distribuição potencial);
- d) Fatores evolutivos – Relacionados com a capacidade de adaptação às novas condições (plasticidade da espécie).

Utilizando apenas os fatores abióticos como condicionadores de um habitat viável, obtêm-se locais satisfatórios para a espécie (potencial) e não

exatamente locais ocupados pela espécie (real) (PHILLIPS, 2008). A principal razão para a utilização desses fatores em detrimento dos demais é a dificuldade de se obter variáveis que representem condições bióticas, cuja interpretação é complexa (CARVALHO, 2015).

Devido à falta de variáveis ecológicas em banco de dados, o conceito “modelagem de nicho ecológico” tem sido questionado, visto que a distribuição das espécies é um resultado complexo de sua ecologia e evolução, influenciada por vários fatores que operam em intensidades e escalas diferentes tais como, a história evolutiva da espécie e sua capacidade de dispersão (GIANNINI et al., 2012). Conforme Pulliam (2000) é possível encontrar indivíduos em locais onde as condições não são inteiramente adequadas à sobrevivência e à reprodução da espécie; por outro lado, as espécies podem apresentar limites de dispersão, e conseqüentemente, não chegar aos locais adequados. Assim, frente à falta de uma definição mais precisa, a maioria dos autores que utilizam apenas dados abióticos utiliza o termo modelagem preditiva e não de nicho.

Prever a distribuição das espécies tornou-se um componente importante do planejamento da conservação nos últimos anos e uma grande variedade de modelos tem sido desenvolvida para esse fim (GUISAN; THUILLER, 2005). Estes modelos são baseados, principalmente, nas condições ambientais e são gerados a partir de um conjunto de regras que vão desde soluções matemáticas mais simples (Distância Euclidiana, BIOCLIM), passando por ajustes estatísticos (Modelos Lineares Generalizados – GLM, Modelos Aditivos Generalizados – GAM) até algoritmos derivados de inteligência artificial e busca (Maxent, GARP, Redes Neurais). Basicamente, o que estes algoritmos calculam é a similaridade ambiental entre os locais de ocorrência conhecidos para a espécie e outras regiões ainda desconhecidas. Ao final, os locais de maior similaridade são considerados como áreas de alta probabilidade de ocorrência (PAGLIA et al., 2012).

Para Guisan e Zimmermann (2000), modelos de distribuição potencial de espécies são ferramentas que surgiram com a proposta de preencher as lacunas de conhecimento sobre os limites geográficos de espécies de interesse, e ainda ajudam na formulação de novas hipóteses sobre os mecanismos que determinam na distribuição destas espécies, ou seja, conseguem prever áreas geográficas com maior grau de adequabilidade ambiental à presença da mesma. Para que isso ocorra, os algoritmos utilizados nesses modelos tentam estabelecer relações não aleatórias entre os dados de ocorrência com dados ecológicos/ambientais relevantes para a espécie tais como, temperatura, geologia, relevo, tipo de solo, precipitação, entre outras (PETERSON et al., 2011; SIQUEIRA, 2002).

Na modelagem preditiva de distribuição de espécies, são utilizados dados de ocorrência das espécies e dados de variáveis ambientais. Os dados de ocorrência das espécies são pontos georreferenciados, ou seja, latitude e longitude, onde as espécies foram observadas e registradas. Esses dados podem ser divididos em pontos de presença e pontos de ausência. Os pontos de presença são as localidades em que a espécie foi registrada como presente e os pontos de ausência são as localidades em que a espécie foi registrada como ausente (RODRIGUES, 2012). Os dados de ausência são muito raros e difíceis de serem obtidos e, por esta razão, alguns algoritmos (BIOCLIM, Environmental Distance, Maxent) têm sido utilizados na modelagem por demandarem apenas dados de presença (ELITH; LEATHWICK, 2009).

As variáveis ambientais, também chamadas de camadas ambientais ou *layers*, também são georreferenciadas e devem pertencer à mesma região de estudo. Os dados referentes às variáveis ambientais representam as informações disponíveis sobre o nicho ecológico das espécies de interesse, como: temperatura, precipitação, altitude, tipo de vegetação, características do solo e radiação solar (RODRIGUES, 2012).

É importante também definir adequadamente a resolução das camadas ambientais para garantir a qualidade do modelo final (GIANNINI et al., 2012). Soberón (2010) demonstrou que o uso de alta resolução se justifica especialmente se informações bióticas (interações entre espécies, por exemplo) forem consideradas na modelagem; do contrário, caso sejam usados apenas dados abióticos, o uso de resolução mais baixa é o suficiente para produzir bons modelos.

O processo de modelagem de distribuição de espécies pode ser visto como um método de auxílio à tomada de decisões. Desta forma, antes de iniciar o processo de modelagem, é necessário identificar o problema a ser resolvido. Na especificação do problema devem ser definidas as espécies que serão estudadas, as variáveis ambientais que serão utilizadas, a região geográfica de interesse e as perguntas que devem ser respondidas pelo modelo (SANTANA et al., 2008). Após a definição do problema, os dados de ocorrência de espécies e variáveis ambientais são selecionados e tratados. O tratamento dos dados inclui remoção de erros de digitação, remoção de valores fora de um intervalo aceitável (por exemplo, temperaturas muito elevadas), verificação de limites dos pontos na região de interesse e transformação para algum padrão de coordenadas georreferenciadas. Em seguida, um algoritmo deve ser escolhido e seus parâmetros devem ser ajustados. A execução do algoritmo gera um modelo que deve ser validado (RODRIGUES, 2012).

A avaliação da acurácia dos modelos é denominada validação, e é um passo vital do desenvolvimento do modelo. A aplicação do modelo terá pouco valor se não for capaz de fazer previsões precisas (MATOS, 2010). O método de avaliação mais comum em quase todos os modelos de distribuição de espécies é através da matriz de confusão (Tabela 1), esquema que reúne as possíveis formas de acerto e erro em relação às previsões do modelo e à distribuição “real” da espécie na natureza (GIANNINI et al., 2012).

Tabela 1 - Matriz de confusão, onde a e d são previsões corretas; b é erro de sobreprevisão (falsos positivos) e c é erro de omissão (falsos negativos).

	Presença Real	Ausência Real
Presença Prevista	a	b
Ausência Prevista	c	d

Exemplos de medidas de pós-análise que são calculadas a partir da matriz de confusão, conforme apresentada, consiste em uma matriz bidimensional quadrada contendo o número de exemplos classificados corretamente e o número de classificações preditas para cada classe, são: acurácia, erro de omissão, erro de sobreposição, curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*) (RODRIGUES, 2012). A técnica da curva ROC é a que tem sido mais utilizada na modelagem preditiva de distribuição de espécies, aplicada principalmente em modelos que utilizam dados de presença e ausência (ELITH et al., 2006). A curva é gerada pela representação gráfica de sensibilidade (verdadeiros positivos) (1) e o complemento da especificidade (1 – especificidade) (falsos positivos) (2), sendo a sensibilidade definida como a proporção de presenças verdadeiras em relação ao total de presenças preditas e a especificidade como a proporção de ausências verdadeiras em relação às ausências preditas (MARCO JUNIOR; SIQUEIRA, 2009).

$$\text{Sensibilidade} = \frac{a}{a + c} \quad (1)$$

$$\text{Especificidade} = \frac{d}{d + b} \quad (2)$$

A área abaixo da curva ROC (*Area Under the Curve* – AUC) mensura a habilidade do modelo em discriminar locais onde a espécie está presente e onde está ausente, fornecendo uma medida única do desempenho do modelo. Seu valor

varia entre 0 e 1, em que 1 indica uma perfeita discriminação entre locais de presença versus ausência. Valores próximos a 0,5 fornecem a informação de que as predições realizadas pelo modelo são aleatórias (ELITH et al., 2006).

Atualmente há uma grande discussão na literatura quanto à aplicação da AUC na modelagem preditiva de distribuição (JIMÉNEZ-VALVERDE, 2011; LOBO; JIMÉNEZ-VALVERDE; REAL, 2008), pois este método de análise concede o mesmo peso aos erros de omissão e sobreprevisão (PETERSON; PAPES; SOBERÓN, 2008), e o tamanho da área de estudo em relação à distribuição conhecida da espécie influencia grandemente na taxa de ausência corretamente predita pelo modelo (GIANNINI et al., 2012).

Outros testes estatísticos têm sido propostos como meios alternativos de avaliar o desempenho de modelos, tais como Kappa (Cohen's Kappa Statistic) e o TSS (True Skill Statistics) (THUILLER et al., 2009). No entanto, Jiménez-Valverde (2011) salienta que qualquer método que combine erros de omissão e sobreprevisão em uma única medida estão sujeitos aos mesmos problemas conceituais que a AUC. Sendo assim, os autores recomendam cautela no seu uso, mas até o presente momento, o AUC mostra-se o teste mais amplamente utilizado pelos pesquisadores (GIANNINI et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi restrito para a Mata Atlântica brasileira (Figura 1), área de ocorrência natural da *Araucaria angustifolia*, um domínio neotropical que varia de aproximadamente 5°-33° em latitude S e 35°-57° em longitude W (RIBEIRO et al., 2009), estendendo-se principalmente ao longo da costa brasileira (92%),

mas atingindo também Paraguai (HUANG et al., 2007) e Argentina (GIRAUDO, 2003).

A Mata Atlântica foi uma das maiores florestas tropicais das Américas, que originalmente possuía uma cobertura de cerca de 150 milhões de hectares em condições ambientais extremamente heterogêneas em termos de clima, solo e altitude (CÂMARA, 2003; VELOSO, 1992). Consequentemente, a Mata Atlântica possui vários tipos de florestas, os quais variam muito em sua composição de espécies (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000). O recorte espacial para a região de interesse foi estabelecido de acordo com a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), compreendendo uma área total de 1.117.850,79 km².



Figura 1 - Distribuição dos pontos de ocorrência da *Araucaria angustifolia*, ao longo da sua área natural de ocorrência, Mata Atlântica, de acordo com a delimitação do IBGE.

3.2 Banco de dados e modelagem preditiva de distribuição

Os pontos de ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* foram resgatados do banco de dados *SpeciesLink* (<http://www.splink.org.br/>) e base de dados dos autores. Foi necessário realizar uma triagem dos pontos extraídos do *SpeciesLink*, verificando manualmente a precisão dos pontos utilizando o Google Earth, para se obter a máxima precisão dos dados de localidade. Portanto, foram excluídas desta análise as coordenadas geográficas de áreas urbanas e os pontos com distância menor que 5 km entre si (para se adequarem à resolução das

camadas ambientais). Do total de pontos resgatados (476 do *SpeciesLink* + 119 de conhecimento dos autores) apenas 200 foram considerados adequados (Figura 1).

As variáveis climáticas foram obtidas na rede Worldclim, com 19 parâmetros climáticos (Tabela 2) e com resolução especial de 2.5 arco-minuto (~5 km) (HIJMANS et al., 2005). Soberón (2010) verificou que o uso de camadas com alta resolução justifica-se especialmente se informações bióticas foram consideradas na modelagem. Do contrário, caso sejam usados apenas dados abióticos, o uso de resolução mais baixa é o suficiente para gerar bons modelos.

No presente trabalho, optou-se pela modelagem por meio do algoritmo de máxima entropia, Maxent, versão 3.3.3k (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006), para os cenários climáticos atuais e futuros. O Maxent foi escolhido por já ter sido relatado anteriormente como um método de modelagem que supera outros métodos de modelagem para prever a distribuição potencial de espécies (ELITH et al., 2006).

Inicialmente, para o modelo teste foram utilizadas todas as 19 variáveis bioclimáticas disponíveis, dados de declividade e carta de orientação de vertentes obtidos do modelo de elevação digital do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (FARR; KOBRICK, 2000) e dados de classificação do solo obtidos do ISRIC/WDC-Soils – *World Soil Information* (HENGL et al., 2014). A altitude foi descartada como variável preditora por representar uma síntese das variáveis climáticas ao invés de um agente determinante de adequabilidade de habitat (PONCE-REYES et al., 2012).

Segundo Guisan e Thuiller (2005), deve-se evitar o uso de variáveis ambientais que sejam altamente correlacionadas. A inclusão de um grande número de parâmetros no modelo pode levar à deturpação da distribuição potencial da espécie (CHILCOTT; HILBERT; HOWDEN, 2003; KRITICOS; RANDALL, 2001; WILLIAMS; BOLITHO; FOX, 2003). Portanto, as 22 variáveis foram classificadas por ordem de significância para a *Araucaria*

angustifolia com base no teste estatístico *jack-knife* e em seguida foram submetidas a um teste de correlação utilizando a ferramenta SDM (*Species Distribution Models*) (BROWN, 2014) no programa ArcGis 10.2, em que as variáveis foram adicionadas em ordem de significância. Foram descartadas aquelas que apresentaram uma correlação de Pearson, positiva ou negativa, maior do que 0,8. Então, para a modelo final foram utilizadas apenas as variáveis não correlacionas (Tabela 3). A contribuição de cada variável climática para o modelo foi analisada por meio dos métodos de *jack-knife* e curvas de respostas.

Tabela 2 - Descrição das variáveis climáticas do *Worldclim*

Variáveis	Descrição
Bio01	Temperatura média anual (°C)
Bio02	Amplitude térmica diária (°C)
Bio03	Isotermalidade ((Bio02/Bio07)*100)
Bio04	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100) (°C)
Bio05	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)
Bio06	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)
Bio07	Variação anual da temperatura (°C)
Bio08	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)
Bio09	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)
Bio10	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)
Bio11	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
Bio12	Precipitação anual (mm)
Bio13	Precipitação do mês mais úmido (mm)
Bio14	Precipitação do mês mais seco (mm)
Bio15	Coeficiente de variação da precipitação
Bio16	Precipitação do trimestre mais úmido (mm)
Bio17	Precipitação do trimestre mais seco (mm)
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente (mm)
Bio19	Precipitação do trimestre mais frio (mm)

Tabela 3 - Fonte e descrição das variáveis abióticas selecionadas para o modelo principal com correlação de Pearson, maior que 0,8.

Variáveis abióticas	Fonte	Descrição
Bio02	WorldClim	Amplitude térmica diária (°C)
Bio03	WorldClim	Isotermalidade ((Bio02/Bio07)*100)
Bio05	WorldClim	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)
Bio08	WorldClim	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)
Bio11	WorldClim	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
Bio12	WorldClim	Precipitação anual (mm)
Bio16	WorldClim	Precipitação do trimestre mais úmido (mm)
Bio17	WorldClim	Precipitação do trimestre mais seco (mm)
Bio18	WorldClim	Precipitação do trimestre mais quente (mm)
Declividade	SRTM	Declividade (m)
Orientação de vertentes	SRTM	Ângulo azimutal (0° - 360°)
Solos	WDC-Soils	Classificação internacional de solos

O conjunto de dados foi submetido a 10 repetições do modelo, sendo que para cada uma foi realizada uma validação cruzada do tipo *cross-validation*. O modelo final foi baseado na média das dez repetições realizadas pelo programa e avaliados usando o método da área abaixo da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), denominada AUC (*Area Under the Curve*), métrica amplamente utilizada em estudos de modelagem preditiva de espécies (ELITH et al., 2006; TERRIBILE; DINIZ-FILHO; MARCO JUNIOR, 2010; WILLIAMS et al., 2009).

Utilizou-se o limiar logístico do teste máximo de sensibilidade e especificidade. Este limiar foi escolhido, pois, limiares são normalmente recomendados para reduzir os erros de sobreposição e omissão característicos da

modelagem de distribuição de espécie (GARCIA et al., 2014), que segundo Giannini et al. (2012), para espécies ameaçadas de extinção o objetivo deve ser identificar áreas adequadas que minimizem a chance de erro, ou seja, modelos menos inclusivos (com baixa sobreprevisão).

Foram utilizados três cenários climáticos para a elaboração dos modelos de distribuição de espécies. O primeiro deles, projetado para o presente (média entre os anos de 1950 a 2000) e, para avaliar o impacto da mudança climática prevista, a distribuição de habitat adequada foi modelada para o período de 2070 (média entre os anos de 2061 a 2080), usando as 12 variáveis ambientais supracitadas. As condições climáticas foram simuladas pelo modelo climático do Hadley Centre Global Environment Model (HadGEM2-ES), preparado para o AR5 (*Fifth Assessment Report*) com base em dois cenários futuros de emissão de CO₂, RCPs (*Representative Concentration Pathways*) RCP 4.5 (cenário otimista) e RCP 8.5 (cenário pessimista).

O cenário RCP 4.5 corresponde a um nível de emissão de CO₂ de 650 ppm (partes por milhão) e um aumento na temperatura de 1,8°C ($\pm 0,7$) para o ano de 2080. Esse é o cenário desejado, ou seja, aquele em que os países consigam controlar os níveis de emissões, e o nível de CO₂ na atmosfera se estabiliza logo após 2100. Entretanto, o cenário RCP 8.5 que corresponde a um nível de emissão de CO₂ de 1370 ppm e um aumento na temperatura de 3,7°C ($\pm 0,9$), é reconhecidamente o mais provável (SCHARDONG; SIMONOVIC; GARCIA, 2014).

Por fim, foi realizado um levantamento das unidades de conservação que se encontram em áreas atualmente ocupadas por florestas com araucária e como estarão efetivamente protegendo esse tipo florestal no futuro, levando em conta as áreas preditas como adequadas para o cenário RCP 8.5 em 2070. Para isso, consideraram-se apenas as categorias mais conservacionistas, seguindo o proposto por Indrusiak e Monteiro (2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados

A predição das áreas potenciais para a *Araucaria angustifolia* no período atual apresentou um bom valor de AUC ($0,866\pm 0,016$) (METZ, 1986) e erro de omissão de 0,1%. O mapa gerado identificou uma área apta para a espécie de 217.690,1 km² dentro da Mata Atlântica, o que corresponde a aproximadamente 20% do bioma brasileiro (Figura 2). Nestas áreas de probabilidade de presença da *Araucaria angustifolia*, predomina principalmente o clima mesotérmico, com chuvas regularmente distribuídas ao longo do ano e sem uma estação seca pronunciada – Cfb (ALVARES et al., 2013a). A temperatura média desta mesma área é de 14°C e a altitude média é de aproximadamente 800 metros, com máxima >1.200 metros e mínima de 400 metros (ALVARES et al., 2013b).

A modelagem se apresentou condizente com a real distribuição da espécie, de forma abundante nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e em algumas regiões de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (*sensu*) (CARVALHO, 2004). As áreas principais indicadas com maior adequabilidade para a espécie (entre 50% e 100%), ou seja, com melhores condições ambientais requeridas, corresponderam à Serra da Mantiqueira, Serra do Mar, sul do Paraná, norte de Santa Catarina e regiões leste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Serra Geral).

Os resultados da modelagem para os cenários futuros também apresentaram bom desempenho do AUC ($0,871\pm 0,021$; $0,865\pm 0,031$) para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, respectivamente, ambos para 2070 (Figura 2). O erro de omissão foi de 0,04% e de 0,05% para os cenários RCP4.5 e 8.5, respectivamente. A área apta para a ocorrência da espécie passou de 20% para 8% (87.065,7 km²), um declínio de 60 % para o cenário mais otimista, e para 2,5% (28.294,9 km²) para o cenário

mais pessimista, com declínio de 87%. Com a intensificação das mudanças climáticas, observa-se um maior isolamento dos maciços com araucária, restritos às regiões montanhosas de três grandes sistemas orográficos: Serra da Mantiqueira, Serra do Mar e Serra Geral (a leste do Planalto das Araucárias).

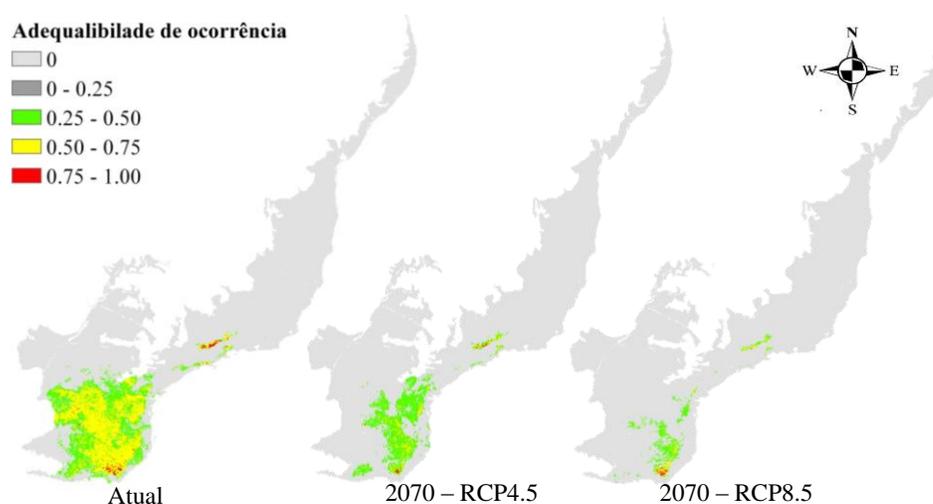


Figura 2 - Adequabilidade de ocorrência da *Araucaria angustifolia* no presente e nos cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.8 para o ano de 2070 utilizando o modelo climático HADGEM2-ES.

As variáveis que mais contribuíram para explicar a adequabilidade das áreas de *Araucaria angustifolia* para o clima atual e na modelagem de mudanças climáticas para os diferentes cenários de emissão de CO₂ (RCP 4.5 e RCP 8.5) foram: temperatura média do trimestre mais frio (Bio 11), isotermalidade (Bio 03) e precipitação do trimestre mais seco (Bio 17). De acordo com as estimativas das contribuições relativas das variáveis ambientais para o modelo Maxent, a Bio 11 apresentou uma contribuição percentual média entre 68,2% e 70,5%, seguida da Bio 03 (8,4%-10,6%) e Bio 17 (5,8%-7,1%). As contribuições relativas para os modelos foram coerentes com os resultados dos testes *jack-knife* para a

importância de cada variável isolada, com os maiores ganhos obtidos para as três variáveis ambientais para os dados de treino, teste e AUC.

Para a variável Bio 11, temperatura média do trimestre mais frio, a probabilidade de ocorrência da espécie diminui significativamente a partir de uma temperatura média próxima de 12°C até atingir 0% de probabilidade de ocorrência em torno dos 18°C (Figura 3). Esses dados mostram a preferência da espécie por temperaturas amenas e regiões com sazonalidade mais pronunciada, característico de climas subtropicais. Segundo Backes (2009), a isoterma de 13°C (temperatura média do mês mais frio do ano) representa o limite térmico da Floresta com Araucária. Atualmente essas médias abrangem uma área de aproximadamente 85% do território da região sul do país, e também são encontradas na Serra do Mar e da Mantiqueira.

A isothermalidade (Bio 03) indica a razão entre a oscilação da temperatura diária (dia-noite) e a oscilação da temperatura anual (verão-inverno). A probabilidade de ocorrência da *A. angustifolia* apresenta um ótimo quando a isothermalidade se encontra entre 40 e 45%, decrescendo consideravelmente a partir de 60% (Figura 3), o que reforça a preferência da espécie por climas subtropicais.

Também determinante foi a precipitação do trimestre mais seco (Bio 17), com uma relação quase linear com a probabilidade de ocorrência da espécie a partir dos 300mm (Figura 3). Backes (2009) caracteriza a área de ocorrência da *A. angustifolia* como dominada por um clima superúmido, onde não se observa déficit hídrico mensal. A sensibilidade da espécie ao regime de precipitação e a temperatura já foram relatadas, segundo Silveira-Wrege et al. (2007); para *A. angustifolia*, um dos principais fatores de estresse é o déficit hídrico e as altas temperaturas, o que corrobora com o resultado encontrado. Contudo, deve-se ter cautela para qualquer interpretação simplista e recorrer a dados fisiológicos da *A. angustifolia*, como será discutido mais adiante.

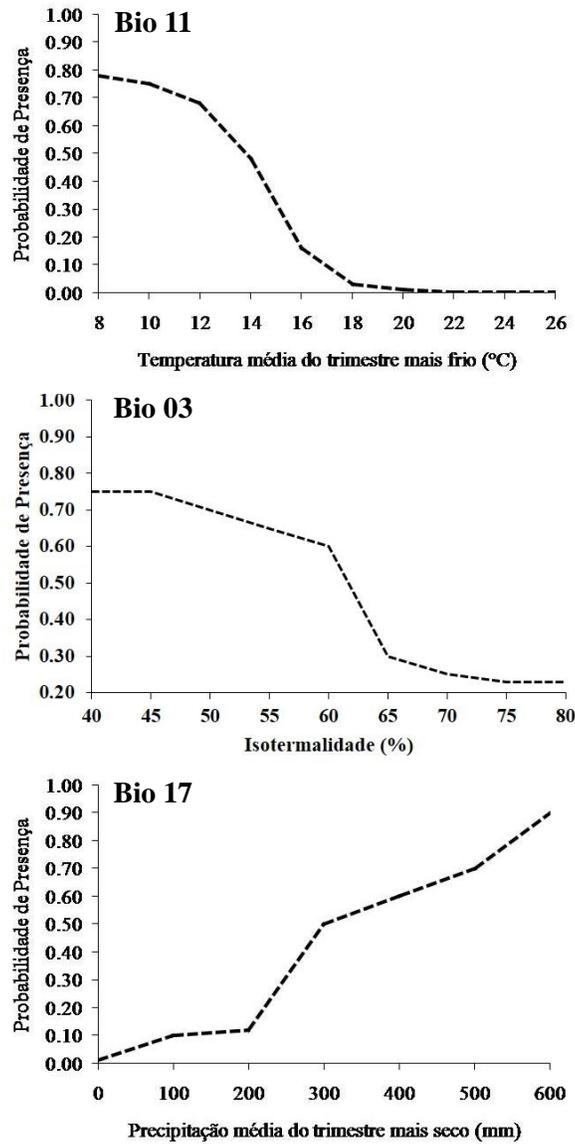


Figura 3 - Curvas de resposta geradas para essas variáveis climáticas de maior importância para a modelagem da distribuição potencial da *Araucaria angustifolia*. (Bio 11) Temperatura média do trimestre mais frio; (Bio 17) Precipitação média do trimestre mais seco e (Bio 08) Temperatura média do trimestre mais úmido.

Apesar de a Floresta com Araucária estar presente atualmente em 72 unidades de conservação, isso representa apenas 4,32% da sua área de distribuição atual (INDRUSIAK; MONTEIRO, 2009). Essa situação fica ainda mais crítica com o cenário pessimista de mudanças climáticas. A Figura 4 mostra as áreas projetadas como adequadas para a ocorrência da espécie *A. angustifolia* para o ano de 2070 (cenário RCP8.5) e a localização das unidades de conservação integral. Foi dada ênfase aos três sistemas orográficos em que as Florestas com Araucária ficaram restritas: Serra da Mantiqueira, Serra do Mar e o complexo da Serra Geral com o Planalto das Araucárias.

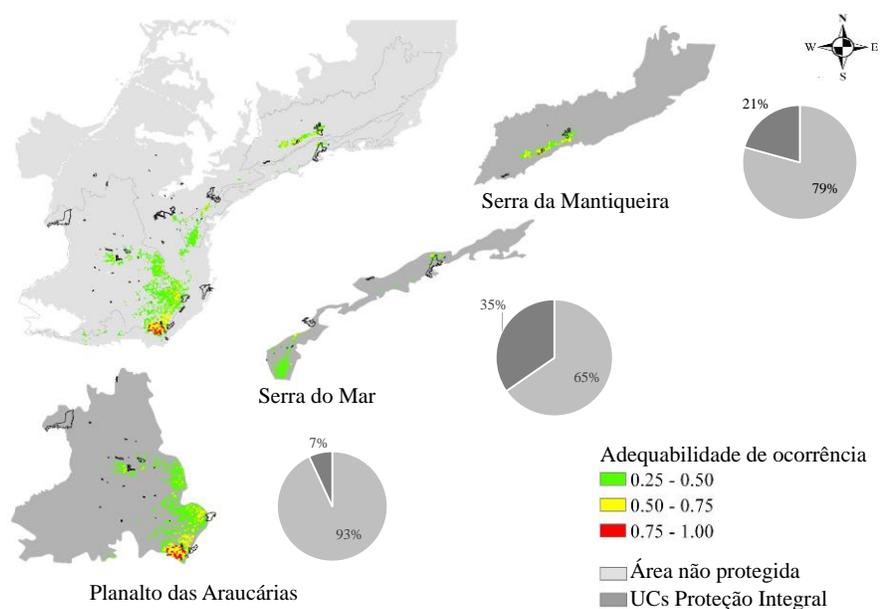


Figura 4 – Sistemas orográficos com áreas de Florestas com Araucária previstas para o ano de 2070 (cenário RCP8.5). Unidades de conservação estão representadas em polígonos com contorno preto. Os gráficos representam a relação de áreas não protegidas e áreas de UC para cada macrorregião.

As maiores expansões das Florestas com Araucária continuarão no sul, porém se observa o desaparecimento dos maciços florestais do centro e oeste do Planalto das Araucárias, onde muitas das unidades de conservação deixarão de oferecer condições climáticas adequadas para a ocorrência da espécie (Figura 4). Observa-se a concentração das Florestas com Araucária a leste, principalmente restritas ao sistema orográfico da Serra Geral. Apesar de conter a maior extensão de áreas que estarão sob proteção integral, o Planalto das Araucárias ficará apenas com 7% das florestas protegidas. As unidades de conservação que permanecerão com alguma representatividade da Floresta com Araucária estão listadas na Tabela 4. Na Serra da Mantiqueira se destacam o Parque Nacional do Itatiaia, o primeiro parque nacional criado no Brasil, e o Parque Estadual da Serra do Papagaio, no limite norte da distribuição da espécie.

Tabela 4 - Tabela 4: Unidades de conservação que contém área predita de presença da *Araucaria angustifolia* para o ano de 2070 (cenário RCP8.5).

	Unidades de Conservação	Área (ha)
Serra da Mantiqueira	Parque Estadual Serra do Papagaio	22.917,00
	Parque Estadual de Campos do Jordão	8.385,89
	Parque Estadual dos Mananciais de Campos do Jordão	502,96
	Parque Nacional do Itatiaia	28.155,00
	Total	59.960,85
Serra do Mar	Floresta Estadual Metropolitana	455,29
	Parque Nacional da Serra da Bocaina	104.000,00
	Total	104.455,29
Serra Geral e Planalto das Araucárias	Estação Ecológica Estadual Aratinga	5.882,00
	Floresta Nacional de Caçador	710,44
	Floresta Nacional de Canela	517,00
	Floresta Nacional de São Francisco de Paula	1.606,63
	Parque Estadual do Ibitirí	415,00
	Parque Estadual do Tainhas	6.654,67
	Parque Nacional da Serra Geral	17.300,00
	Parque Nacional das Araucárias	12.841,00
	Parque Nacional de Aparados Da Serra	10.250,00
	Parque Nacional de São Joaquim	49.000,00
	Refúgio de Vida Silvestre dos Campos de Palmas	16.500,00
Reserva Biológica da Serra Geral	4.845,76	
Reserva Biológica Estadual do Aguai	767,00	
	Total	127.289,50

4.2 Discussões

4.2.1 Distribuição atual da Floresta com Araucária: agentes determinantes

Os resultados mostram que a presença da *A. angustifolia* é determinada principalmente por fatores climáticos, tendo pouca especificidade ou exigências edáficas e topográficas. Sua distribuição geográfica ocorre em áreas geomorfologicamente distintas, fato que confere às Florestas com Araucária uma grande diversidade na composição florística ao longo do seu gradiente latitudinal e altitudinal. Nos neotrópicos não existem florestas de coníferas, mas florestas com coníferas, sendo essas mais heterogêneas quanto mais se aproximam dos limites de contato com as formações de procedência tropical (BACKES, 2009). Nesse caso específico, a modelagem de nicho ecológico para a *A. angustifolia* consiste necessariamente na modelagem da própria Floresta com Araucária, onde a espécie é considerada chave no funcionamento do ecossistema.

O limitante da Floresta com Araucária ao norte são os climas tropicais e sua presença só é mantida onde os limites térmicos são condicionados pelo relevo e as altitudes altas. Na faixa litorânea, a leste, até a latitude de 28°C domina igualmente o clima tropical devido ao aquecimento determinado pela corrente oceânica quente, ocorrendo a Floresta Ombrófila Densa. Do mesmo modo, a presença da araucária também é restringida em toda a vertente oriental das serras costeiras (BACKES, 2009). Ao norte e oeste do Planalto das Araucárias, a espécie é limitada pelos vales dos rios da Bacia da Prata. Finalmente ao sul, a maior expansão das Florestas com Araucária se depara com a Depressão Central do Rio Grande do Sul, onde as médias das máximas de verão são superiores a 30°C (com máximas absolutas equivalentes às das regiões equatorianas) causando significativo aumento no déficit hídrico. Concomitantemente, a presença de

importantes corpos d'água cria um ótimo climático para a expansão das formações tropicais, restringindo a ocorrência da *A. angustifolia*.

Uma pergunta importante continua para ser respondida por trabalhos de ecologia e ecofisiologia: a restrição da espécie a grandes altitudes está associada a necessidades de baixas temperaturas ou constitui uma estratégia de escape da competição? Segundo Backes (2009), o padrão de distribuição atual da *A. angustifolia* é característico de espécies dominadas, uma vez que as condições climáticas atuais favorecem as espécies latifoliadas tropicais (dominantes), aumentando seu poder competitivo em relação às coníferas. Contudo, à medida que as condições de sítio se tornam menos favoráveis (como ocorrência de fogo, geadas, baixas temperaturas e maior elevação), as espécies tropicais latifoliadas perdem progressivamente seu poder competitivo, deixando espaço para a araucária. Segundo Silveira-Wrege et al. (2007), a ocorrência de geadas é determinante na distribuição da *A. angustifolia*, sugerindo alta suscetibilidade da espécie às mudanças climáticas. Desta forma, é possível que as condições ambientais aqui modeladas possam agir de maneira indireta sobre a distribuição da *A. angustifolia* e das Florestas com Araucária, atuando sobre a capacidade competitiva das espécies. Caso isso fosse verdade, a distribuição da araucária não estaria em função direta dos condicionamentos ambientais, mas antes determinada em grande parte, pela baixa competitividade da espécie frente às espécies latifoliadas tropicais (FONSECA et al., 2009; RAMBO, 1951; VEBLEN, 1982).

Se a Floresta com Araucária é mantida apenas em áreas menos favoráveis às latifoliadas, seu condicionamento ainda assim permanece sendo climático, ainda que de forma indireta. Nesse sentido, o pinheiro-brasileiro apresenta elevada vulnerabilidade climática em um mundo cada vez mais quente, podendo ficar restrito a áreas cada vez mais elevadas. A ameaça imposta pelas mudanças climáticas seria a gradativa substituição desse tipo florestal pela Floresta Ombrófila Densa que a circunda, salvo que as alterações do regime hídrico

decorrentes do aquecimento global limitem também a manutenção dessas formações exuberantes da Mata Atlântica.

A ocorrência característica da *A. angustifolia* em ambientes de alta pluviosidade parece sugerir que a baixa disponibilidade de água seja um fator limitante para sua regeneração e crescimento. Apesar de os resultados apontarem para uma possível intolerância da *A. angustifolia* a estiagens pronunciadas, características morfológicas e estudos do comportamento fisiológico da espécie ao estresse hídrico parecem discordar. Segundo Fonseca et al. (2009), a espécie apresenta diversas características de tolerância à seca típicas das coníferas, tais como: pronunciada lignificação das paredes de células guarda, presença de hipoderme uni ou bi-estratificada, ocorrência de células compartimentadas no mesófilo, consumo de água lento associado a baixas taxas transpiratórias foliares, baixos valores de condutância estomática e elevada sensibilidade estomática a reduções da água no solo. Contudo, ainda existem lacunas relacionadas às relações hídricas da espécie, como avaliações da tensão do xilema sob condições naturais. Outra discussão recente é sobre a capacidade da espécie em captar água das nuvens (CASSANA; DILLENBURG, 2012), o que faria com que as serras localizadas em regiões climáticas sazonais, como na Mantiqueira, fornecessem a água necessária para as araucárias pela interceptação e condensação das nuvens, minimizando os efeitos das estiagens que podem durar até 5 meses.

4.2.2 Áreas ocupadas por *A. angustifolia*: refúgios climáticos ou populações relictuais?

Uma das consequências previstas frente às mudanças climáticas é o deslocamento de espécies de plantas para elevações e latitudes maiores, à medida que o clima a que estão adaptadas é deslocado. Conforme observado no mapeamento dos cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5 para o ano de 2070, a *A.*

angustifolia não se desloca para latitudes maiores ao sul. Isso ocorre devido a uma barreira termal provocada pela Depressão Central do Rio Grande do Sul. Dessa maneira, só resta seu deslocamento montanhas acima e aí reside a importância das regiões serranas, em especial as costeiras, bem como as terras altas no Planalto das Araucárias.

A tendência observada pelos estudos palinológicos de que a araucária estaria condicionada a viver em ambientais cada vez menos favoráveis e mais elevados devido às alterações do clima, vai ao encontro dos resultados encontrados na modelagem de mudanças climáticas realizados neste trabalho. Com o aumento da temperatura, é possível perceber a diminuição das áreas aptas para a espécie e a tendência seria que apenas pequenas áreas nas partes mais altas do Planalto das Araucárias, Serra do Mar e da Mantiqueira permaneçam favoráveis para a espécie. Resultado semelhante foi relatado por Silveira-Wrege et al. (2007), porém os autores modelaram apenas a região Sul do Brasil (Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), onde as populações de Araucária são mais abundantes. Áreas como a Serra da Mantiqueira e Serra do Mar foram negligenciadas por Silveira-Wrege et al. (2007), porém, foi demonstrado nesse trabalho que são áreas de grande relevância para conservação e, projetadas para cenários futuros de mudanças climáticas, poderão servir de refúgio para a espécie.

Refúgios climáticos são regiões geográficas onde populações de uma espécie podem persistir durante períodos climáticos desfavoráveis (glacial/interglacial) que representem um máximo na contração da sua distribuição geográfica (STEWART et al., 2010). Durante a Última Máxima Glacial os vales profundos serviram de refúgio para as populações dispersas de araucária (BEHLING, 2002), enquanto os campos ocupavam as terras altas do sul e sudeste (LEDRU; SALGADO-LABOURIAU; LORSCHHEITTE, 1998). Pela expansão das matas de galeria, a partir desses vales, as araucárias recolonizaram as áreas montanhosas durante o período pós-glacial que perdura até o presente.

Nosso estudo indica que as serras costeiras do leste brasileiro poderão servir de macrorrefúgio climático para as Florestas com Araucária nas próximas décadas. Contudo, resta saber se essas pequenas áreas permitirão a sobrevivência das araucárias durante todo o novo período de temperaturas elevadas, ou seja, quanto tempo o clima permanecerá mais quente do que as condições interglaciais “normais” e qual a probabilidade de persistência da espécie nesses macrorrefúgios (ASHCROFT, 2010).

Os refúgios das mudanças climáticas do século 21 se diferem dos refúgios da era interglacial corrente, uma vez que as temperaturas serão maiores e as espécies terão de lidar com paisagens fragmentadas pelo homem (ASHCROFT, 2010). Caso as populações de araucária sobrevivam por tempo limitado a novas condições, essa espécie estará efetivamente comprometida, sendo mais apropriado referir a essas áreas como populações relictuais. Ademais, as formações encontradas nas Serras do Mar e da Mantiqueira poderão se comportar como populações marginais, geralmente esparsas e fragmentadas, ficando mais propensas a extinções locais devido a flutuações ambientais, estocasticidade demográfica e efeitos de borda (KAWECKI, 2008).

No entanto, há evidências crescentes de que a taxa de aquecimento é amplificada com a elevação, de tal forma que os ambientes de maiores altitudes sofrem alterações mais rápidas na temperatura do que em ambientes de altitudes mais baixas. Este aquecimento tem grandes implicações nos ecossistemas e espécies que residem nestas zonas de altitudes (PEPIN et al., 2015). Neste sentido, as araucárias estão cada vez mais sujeitas à extinção, pois com a tendência de ficarem restritas a áreas elevadas, elas não encontrarão mais áreas aptas no futuro e acabarão sendo extintas.

As regiões altas do Brasil são formações geomorfológicas muito antigas com os maiores picos atingindo quase 2.900m acima do nível do mar. Na Serra da Mantiqueira as araucárias já foram observadas em altitudes de 2.000m. Ainda

é incerto o que restringe as Florestas com Araucária a ocuparem porções mais elevadas do relevo; algumas possíveis restrições em função das condições de vento, aridez e profundidade do solo ainda precisam ser testadas em campo e em casas de vegetação. Já em locais de baixa elevação e montanhas isoladas, algumas plantas poderão ficar localmente extintas porque a faixa de elevação não permitirá adaptação natural ao aumento da temperatura (MAGRIN et al. 2007).

Estudos mostram que quando a profundidade efetiva do solo é reduzida, ocorre a redução do comprimento médio da raiz principal que é compensada pelo aumento proporcional do seu diâmetro e pela densa proliferação de raízes finas na camada superficial do solo (FONSECA et al., 2009). Sob condições naturais, esta arquitetura poderia comprometer a sustentação da planta adulta e aumentar a suscetibilidade da espécie a períodos de seca. Áreas mais elevadas, mas com solos rasos e substratos rochosos continuarão sendo inadequadas para o estabelecimento das araucárias mesmo que as áreas se tornem climaticamente adequadas para a ocorrência da espécie no futuro.

Cenários futuros do clima apenas são projeções de prováveis mudanças que possam vir a acontecer como produto do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa. Por esse motivo, o nível de incerteza nas simulações dos modelos ainda é grande em relação ao que de fato possa acontecer (VALVERDE; MARENGO, 2010). Apesar disso, os resultados encontrados nesse trabalho são bastante consistentes com a literatura e opinião de especialistas. Os modelos baseados apenas em variáveis climáticas e ambientais, como utilizado neste trabalho, têm limitações, pois não consideram as interações entre as espécies (interações bióticas). Porém, apesar destas limitações, oriundas da complexidade dos sistemas naturais, os resultados de sucesso dos mesmos podem ser encontrados, principalmente, quando aplicados em macro escala, pois nestes cenários a influência climática prevalece sobre as interações bióticas (GARCIA et al., 2014; PEARSON; DAWSON, 2003).

4.2.3 Áreas de proteção ambiental e conservação das Florestas com Araucária

Com relação à distribuição real da Floresta Ombrófila Mista, é estimada uma extensão entre 200.000 a 250.000 km² (MEDEIROS; SAVI; BRITO, 2005). Silva e Dinnouti (2006) estimaram que a distribuição original da Floresta com Araucária era de aproximadamente 204.836,24 km², valor próximo da área potencial predita pelo modelo, que foi de 217.690,1 km². Sabe-se que apenas cerca de 3% (BAUERMANN; BEHLING, 2009) desta cobertura original tenham restado e que 1.270,13 km² (0,62%) estão em Unidades de Conservação Federais de Proteção Integral (SILVA; DINNOUTI, 2006). Já Indrusiak e Monteiro (2009) estimaram que 3.586,44 km² (1,75%) estão em Unidades de Conservação de Proteção Integral inseridas na área de distribuição da Floresta com Araucária. Esta diferença foi atribuída ao fato de as Unidades de Conservação consideradas no trabalho de Indrusiak e Monteiro (2009) não possuírem seu território integralmente cobertos pela Floresta com Araucária.

A partir do trabalho de Indrusiak e Monteiro (2009), podemos ressaltar outro aspecto de criticidade da Floresta Ombrófila Mista: a carência de espaços legalmente protegidos, sob a forma de unidades de conservação de proteção integral na sua área de ocorrência original. Buscando efetuar uma análise mais acurada da situação da Floresta com Araucária sob a proteção do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), Indrusiak e Monteiro (2009) consideraram apenas as Unidades de conservação de proteção Integral e as Florestas Nacionais e Estaduais, totalizando setenta e duas Unidades de Conservação e uma área total de 885.858,23 ha. Destas 72 Unidades de Conservação, apenas 56 possuem área maior que 100 ha.

Não há dúvidas sobre o status de ameaça desse ecossistema. Nas listas que tratam do estado de conservação de espécies nativas, a espécie é considerada “criticamente em perigo” na Lista Vermelha da União Internacional para a

Conservação da Natureza (THOMAS, 2014), "ameaçada de extinção" na Lista Oficial do IBAMA (2008) e nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2002; SÃO PAULO, 2004), "vulnerável à extinção" em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 1997), classificada como "rara" em Santa Catarina (KLEIN, 1990) e "regionalmente extinta" no Espírito Santo (SIMONELLI; FRAGA, 2007). As formações de Floresta com Araucária que restaram hoje se encontram altamente fragmentadas e dispersas, com poucas grandes populações remanescentes. Além disso, a distribuição etária dessas populações mostra a predominância de classes etárias mais velhas (SILVEIRA-WREGE et al., 2007).

Segundo Bruner et al. (2001), os parques permanecem sendo o componente central para as estratégias de conservação. A criação de novos parques e a melhoria nos planos de ação dos parques existentes farão uma contribuição significativa para a conservação a longo prazo. Parques em regiões tropicais têm sido eficientes para proteger ecossistemas e espécies dentro de seus limites, principalmente por impedir o desmatamento (BRUNER et al., 2001).

As áreas de proteção se tornam ainda mais importantes frente às previsões de mudanças na geografia da produção agrícola de diversas culturas. Estas mudanças envolvem, principalmente, o deslocamento das áreas de cultivo de algumas culturas para regiões com temperaturas mais amenas. Isso poderá amplificar a pressão antrópica e representar uma ameaça real de remoção de remanescentes de vegetação nativa no sul do país e em terras mais altas do sudeste (PINTO et al., 2002).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E AÇÕES FUTURAS

A Floresta com Araucária (Floresta Ombrófila Mista) ocupa lugar de destaque em discussões sobre formações florestais ameaçadas da Mata Atlântica. A exploração ilegal da madeira, a expansão da fronteira agrícola, construção de grandes empreendimentos energéticos e rodoviários são os principais fatores de fragmentação provocados pelo homem. Hoje essa espécie é protegida por lei e esforços devem ser feitos não apenas para que a lei seja cumprida, mas também para auxiliar e promover sua regeneração natural e estimular seu uso em reflorestamentos, visando a sua preservação e o uso sustentável de seus recursos.

Os remanescentes de Floresta com Araucária formam agrupamentos geograficamente separados, caracterizados pelo alto grau de fragmentação e isolamento das populações remanescentes. O mapeamento da distribuição potencial futura aponta para três grandes sistemas orográficos que precisam de todo o esforço possível para a conservação das áreas com baixo grau de perturbação antrópica. Além dessas áreas de conservação, a recuperação dos fragmentos remanescentes em diferentes estágios de perturbação apresenta grande potencial para a ampliação florestal a longo prazo (ENGELS, 2009).

Por fim, faz-se necessário aumentar os esforços de *downscaling* das modelagens de nicho ecológico das espécies por meio de dados topoclimáticos de alta resolução. Essa abordagem de escala mais fina poderá possibilitar uma aproximação mais realista de um terreno complexo e poderá integrar dados dos processos de dinâmica e dispersão para determinar se a espécie poderá de fato colonizar sítios com condições ambientais que os qualificam como potenciais refúgios no futuro.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013a.
- ALVARES, C. A. et al. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 113, n. 3/4, p. 407-427, 2013b.
- ARAÚJO, M. B. et al. Exposure of European biodiversity to changes in human-induced pressures. **Environmental Science & Policy**, Exeter, v. 11, n. 11, p. 38-45, Feb. 2008.
- ASHCROFT, M. B. Identifying refugia from climate change. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 1407-1413, Aug. 2010.
- AUSTIN, M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 157, n. 2/3, p. 101-118, Nov. 2002.
- BACKES, A. Distribuição geográfica atual da Floresta com araucária: condicionamento climático. In: FONSECA, C. R. et al. (Ed.). **Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 39-44.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do sul: guia de identificação e interesse ecológico**. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2002. 326 p.
- BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H. Dinâmica paleovegetacional da floresta com araucária a partir do final do pleistoceno: o que mostra a palinologia. In: FONSECA, C. R. et al. (Ed.). **Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 35-38.
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 177, n. 1, p. 19-27, Jan. 2002.

BROWN, J. L. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses. **Methods in Ecology and Evolution**, London, v. 5, n. 7, p. 694-700, July 2014.

BRUNER, A. G. et al. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, London, v. 291, n. 5501, p. 125-127, Jan. 2001.

CÂMARA, I. G. Brief history of conservation in the Atlantic Forest. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Ed.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. Washington: CABS; Island Press, 2003. p. 31-42.

CARLUCCI, M. B. et al. Conservação da Floresta com Araucária no extremo sul do Brasil. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 111-114, jul. 2011.

CARVALHO, M. C. **Modelagem preditiva da distribuição potencial de espécies arbóreas na bacia hidrográfica do rio Grande, MG**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisas Florestais, 2004. 640 p.

CASSANA, F. F.; DILLENBURG, L. R. The periodic wetting of leaves enhances water relations and growth of the long-lived conifer *Araucaria angustifolia*. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 5, n. 1, p. 75-83, June 2012.

CHEN, G.; PETERSON, A. T. Prioritization of areas in China for the conservation of endangered birds using modelled geographical distributions. **Bird Conservation International**, Cambridge, v. 12, n. 3, p. 197-209, Sept. 2002.

CHEN, Y. H. Conservation biogeography of the snake family Colubridae of China. **North-Western Journal of Zoology**, Oradea, v. 5, n. 2, p. 251-262, 2009.

CHILCOTT, C.; HILBERT, D.; HOWDEN, M. Modelling biodiversity and climate change. In: HOWDEN, M. et al. (Ed.). **Climate change impacts on biodiversity in Australia: outcomes of a workshop sponsored by the biological diversity advisory committee**. Canberra: Environment Australia, 2003. p. 63-66.

COSTA, T.; CARNAVAL, A.; TOLEDO, L. Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. **Revista de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 33-37, jun. 2012.

DUTRA, T. L.; STRANZ, A. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a paleontologia. In: FONSECA, C. R. et al. (Ed.). **Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 15-33.

ELITH, J. et al. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. **Ecography**, Copenhagen, v. 29, n. 2, p. 129-151, Apr. 2006.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, n. 40, p. 677-697, Sept. 2009.

ENGELS, W. Brazil's Araucaria rainforest: climate change and reforestation. In: BODEGOM, A. J. van; SAVENIJE, H.; WIT, M. (Ed.). **Forests and climate change: adaptation and mitigation**. Wageningen: Tropenbos International, 2009. p. 114-118.

ENGLER, R.; GUIBAN, A.; RECHSTEINER, L. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 263-274, Apr. 2004.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle radar topography mission produces a wealth of data. **American Geophysical Union**, Washington, v. 81, n. 48, p. 583-585, Nov. 2000.

FONSECA, C. R. et al. (Ed.). **Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. 326 p.

FRANKLIN, J. **Mapping species distribution**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 338 p.

GARCIA, L. G. et al. Modelagem da aptidão climática do *Eucalyptus grandis* frente aos cenários de mudanças climáticas no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 503-511, dez. 2014.

GIANNINI, T. C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 3, p. 733-749, jul./set. 2012.

GIRAUDO, A. R. Dynamics of biodiversity loss in the Argentinean Atlantic Forest: an introduction. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Ed.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. Washington: CABS; Island Press, 2003. p. 139-140.

GOERCK, J. M. Patterns of rarity in the birds of the Atlantic Forest of Brazil. **Conservation Biology**, Boston, v. 11, n. 1, p. 112-118, Feb. 1997.

GRINNELL, J. Field tests of theories concerning distributional control. **The American Naturalist**, Chicago, v. 51, n. 602, p. 115-128, Feb. 1917.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, Oxford, v. 8, n. 9, p. 993-1009, June 2005.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 135, n. 2/3, p. 147-186, Dec. 2000.

HENGL, T. et al. SoilGrids1km: global soil information based on automated mapping. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 8, p. e105992, Aug. 2014.

Disponível em:

<<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105992>>.

Acesso em: 10 dez. 2014.

HIJMANS, R. J. et al. Very highresolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 25, p. 1965-1978, Sept. 2005.

HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, n. 12, p. 2272-2281, Dec. 2006.

HIRZEL, A. H. et al. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? **Ecology**, Durham, v. 83, n. 7, p. 2027-2036, July 2002.

HUANG, C. et al. Rapid loss of Paraguay's Atlantic forest and the status of protected areas: a landsat assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 106, n. 4, p. 460-466, Feb. 2007.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**: ecologia, composição e importância econômica. São Paulo: Polígono: UnB, 1972. 465 p.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology**, New York, v. 22, p. 415-427, 1957.

INDRUSIAK, C.; MONTEIRO, S. A. Unidades de conservação na área de distribuição da araucária. In: FONSECA, C. R. et al. (Ed.). **Floresta com araucária**: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 253-265.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa, color. Escala 1:5000.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Portaria nº 37-N**, de 3 de abril de 1992. Lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção. Brasília, 2008. 15 p.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modeling. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 498-507, Apr. 2011.

KAWECKI, T. J. Adaptation to Marginal Habitats. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, v. 39, p. 321-342, 2008.

KLEIN, R. M. **Espécies raras ou ameaçadas de extinção do estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Geociências, 1990. 287 p.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. S. **Araucária: a floresta do Brasil meridional**. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002. 148 p.

KRITICOS, D. J.; RANDALL, R. P. A comparison of systems to analyse potential weed distributions. In: GROVES, R. H.; PANETTA, F. D.; VIRTUE, J. G. (Ed.). **Weed risk assessment**. Collingwood: CSIRO, 2001. p. 61-79.

LEDRU, M. P.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; LORSCHREITER, M. L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 131-142, Jan. 1998.

LIMA, R. A. F. et al. How much do we know about the endangered Atlantic Forest?: reviewing nearly 70 years of information on tree community surveys. **Biodiversity and Conservation**, Bengaluru, v. 24, p. 2135-2148, July 2015.

LOBO, D. H. Araucária: necessidade de conservação e recomposição. **Florestar Estatístico**, São Paulo, v. 6, n. 14, p. 12-13, 2003.

LOBO, J. M.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; REAL, R. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 17, n. 2, p. 145-151, Sept. 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 1, 352 p.

MAGALHÃES, M. R. **Avaliação do impacto das mudanças climáticas na distribuição geográfica e na produtividade sustentável de *Hancornia Speciosa* Gomes (Apocynaceae)-mangaba nos municípios brasileiros**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente) - Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2013.

MAGRIN, G. et al. Latin America. In: PARRY, M. L. et al. (Ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 581-615.

MARCO JUNIOR, P. de; SIQUEIRA, M. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, São Paulo, v. 5, n. 5, p. 65-76, Dec. 2009.

MARINI, M. A. et al. Predicted climate-driven bird distribution changes and forecasted conservation conflicts in a Neotropical Savanna. **Conservation Biology**, Boston, v. 142, n. 12, p. 3039-3050, Dec. 2009.

MATOS, R. S. **Avaliação das ferramentas de modelagem preditiva de nicho fundamental para espécies de aves do Parque Estadual da Serra do Mar e núcleo São Sebastião, SP**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

MEDEIROS, J. D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. Seleção de áreas para criação de unidades de conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 33-50, mar. 2005.

METZ, C. E. ROC methodology in radiologic imaging. **Investigative Radiology**, Bern, v. 21, n. 9, p. 720-733, Sept. 1986.

MEYNECKE, J. O. Effects of global climate change on geographic distributions of vertebrates in North Queensland. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 174, n. 4, p. 347-357, June 2004.

MINAS GERAIS. Conselho de Política Ambiental. **Lista das espécies ameaçadas de extinção da flora do estado de Minas Gerais**: deliberação COPAM 085/97. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/listas-mg/MG-especies-Flora-ameacadas.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2014.

MITTERMEIER, R. A. et al. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. **Conservation Biology**, Boston, v. 12, n. 3, p. 516-520, June 1998.

MITTERMEIER, R. A. et al. **Hotspots revisited**. México: CEMEX, 2004. 390 p.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853-858, Feb. 2000.

NÓBREGA, C. C.; MARCO JUNIOR, P. de. Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. **Diversity and Distributions**, London, v. 17, n. 3, p. 491-505, May 2011.

OLIVEIRA, H. R.; CASSEMIRO, F. A. S. Potenciais efeitos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição de um anuro da Caatinga *Rhinella granulosa* (Anura, Bufonidae). **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 103, n. 3, p. 272-279, set. 2013.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, Washington, v. 32, n. 4b, p. 793-810, Sept. 2000.

ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T. Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico. **Diversity and Distributions**, London, v. 10, n. 1, p. 39-54, Jan. 2004.

PAGLIA, A. P. et al. Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças climáticas. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 231-234, dez. 2012.

PEARSON, R. G. **Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners**. 2007. Disponível em: <<http://ncep.amnh.org>>. Acesso em: 8 set. 15.

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 361-371, Sept. 2003.

PEPIN, N. et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. **Nature Climate Change**, London, v. 5, n. 5, p. 424-430, Apr. 2015.

PETERSON, A. T. Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 817-827, May 2011.

PETERSON, A. T. et al. **Ecological niches and geographic distributions**. Princeton: Princeton University, 2011. 314 p.

PETERSON, A. T. et al. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. **Nature**, London, v. 416, p. 626-629, Apr. 2002.

PETERSON, A. T. et al. Native-range ecology and invasive potential of *Cricetomys* in North America. **Journal of Mammalogy**, Lawrence, v. 87, n. 3, p. 427-432, June 2006.

PETERSON, A. T.; PAPES, M.; KLUZA, D. A. Predicting the potential invasive distributions of four alien plant species in North America. **Weed Science**, Champaign, v. 51, n. 6, p. 863-868, Apr. 2003.

PETERSON, A. T.; PAPES, M.; SOBERON, J. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 213, n. 1, p. 63-72, Apr. 2008.

PETERSON, A. T.; ROBINS, C. R. Using ecological-niche modeling to predict Barred Owl invasions with implications for Spotted Owl conservation. **Conservation Biology**, Boston, v. 17, n. 4, p. 1161-1165, Aug. 2003.

PHILLIPS, S. J. Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson et al. (2007). **Ecography**, Copenhagen, v. 31, n. 2, p. 272-278, Mar. 2008.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 190, n. 3/4, p. 231-259, Jan. 2006.

PINTO, H. S. et al. O aquecimento global e a agricultura: mudanças climáticas. **Com Ciência**, Campinas, v. 34, p. 139-162, ago. 2002.

POLASKY, S.; SOLOW, A. R. The value of information in reserve site selection. **Biodiversity and Conservation**, Bengaluru, v. 10, n. 7, p. 1051-1058, July 2001.

PONCE-REYES, R. et al. Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. **Nature Climate Change**, London, n. 2, p. 448-452, Mar. 2012.

PULLIAM, H. R. On the relationship between niche and distribution. **Ecology Letters**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 349-361, July 2000.

RAMBO, B. A imigração da selva higrófila no Rio Grande do Sul. **Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues**, Itacai, v. 3, p. 55-91, 1951.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed: Implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, June 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Decreto Estadual CONSEMA nº 42.099**, de 31 de dezembro de 2002. Declara as espécies da flora nativa ameaçadas de extinção no estado do Rio Grande do Sul e da outras providências. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Magnolia%20ovata>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

RODRIGUES, E. S. C. **Teoria da informação e adaptatividade na modelagem de distribuição de espécies**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SANTANA, F. S. A. et al. A reference business process for ecological niche modelling. **Ecological Informatics**, New York, v. 3, n. 1, p. 75-76, Jan. 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Lista oficial das espécies da flora do Estado de São Paulo ameaçadas de extinção. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, São Paulo, n. 48, p. 34, 2004.

SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S. P.; GARCIA, J. I. B. O possível efeito de mudanças climáticas e suas incertezas sobre afluências em sistemas de recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 53-65, jul./dez. 2014.

SILVA, J. M. C.; DINNOUTI, A. **Análise da representatividade das unidades de conservação federais de uso indireto na Floresta Atlântica e campos sulinos**. 2006. Disponível em: <<http://www.aliancamataatlantica.org.br/uc.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SILVEIRA-WREGE, M. et al. **Climate change and conservation of Araucaria angustifolia in Brazil**. Rome: FAO Corporate Document Repository, 2007. 6 p.

SIMONELLI, M.; FRAGA, C. N. (Org.). **Espécies da flora ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo**. Vitória: IPEMA, 2007. 44 p.

SIQUEIRA, M. F. **Modelagem de nicho ecológico e predição de distribuição geográfica de espécies arbóreas de cerrado**. Campinas: CRIA, 2002. 34 p.

SOBERÓN, J. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography**, Copenhagen, v. 33, n. 1, p. 159-167, Feb. 2010.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. **Biodiversity Informatics**, Lawrence, v. 2, n. 2, p. 1-10, 2005.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2012-2013. Disponível em:
<<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

STEWART, J. R. et al. Refugia revisited: individualistic responses of species in space and time. **Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences**, London, v. 277, n. 1682, p. 661-671, Oct. 2010.

SUTHERST, R. W.; MAYWALD, G. F.; RUSSELL, B. L. Estimating vulnerability under global change: modular modelling of pests. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 82, n. 1/3, p. 303-319, Dec. 2000.

TERRIBILE, L. C.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; MARCO JUNIOR, P. de. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions?: inductive reasoning may fail at the end. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 2, p. 263-269, 2010.

THOMAS, C. D. et al. Extinction risk from climate change. **Nature**, London, v. 427, p. 145-148, Jan. 2004.

THOMAS, P. *Araucaria angustifolia*: the IUCN red list of threatened species. Version 2014.2. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

THOMAS, W. W. et al. Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. **Biodiversity Conservation**, London, v. 7, n. 3, p. 311-322, 1998.

THULLER, W. et al. BIOMOD: a platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, Copenhagen, v. 32, n. 3, p. 369-373, June 2009.

UNGERER, M. J.; AYRES, M. P.; LOMBARDERO, M. J. Climate and the northern distribution limits of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann Coleoptera: Scolytidae. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 26, n. 6, p. 1133-1145, 1999.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 1, p. 125-145, mar. 2010.

VEBLEN, T. T. Regeneration patterns in *Araucaria araucana* forest in Chile. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 9, p. 11-28, 1982.

VELOSO, H. P. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.

WIENS, J. A. et al. Niches, models, and climate change: assessing the assumptions and uncertainties. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 106, p. 19729-19736, Nov. 2009.

WILLIAMS, J. N. et al. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. **Diversity and Distributions**, London, v. 15, n. 4, p. 565-576, July 2009.

WILLIAMS, S. E.; BOLITHO, E. E.; FOX, S. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. **Proceedings of the Royal Society of London B**, London, v. 270, p. 1887-1892, Aug. 2003.

ANEXO

Anexo A – Lista dos pontos de ocorrência da *Araucaria angustifolia*

Espécie	Latitude	Longitude
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,480833	-50,174444
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,467779	-51,959603
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,446049	-50,588227
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,375542	-50,870011
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,379744	-51,110180
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,276233	-51,249536
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,256100	-51,533600
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,225000	-51,347800
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,171400	-51,519200
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,168100	-51,179400
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,162800	-51,631700
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,047800	-50,144700
<i>Araucaria angustifolia</i>	-29,028900	-51,181700
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,971100	-51,068100
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,936100	-51,549400
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,934700	-49,485800
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,884700	-50,357800
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,667800	-50,416700
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,517800	-49,320800
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,512200	-50,933900
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,439008	-49,947675
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,393100	-49,396700
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,300000	-49,916660
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,260536	-49,769089
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,260211	-50,670122
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,053600	-51,190300
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,035000	-50,849722
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,025156	-49,822067
<i>Araucaria angustifolia</i>	-28,013056	-49,491944
<i>Araucaria angustifolia</i>	-27,988889	-50,803611
<i>Araucaria angustifolia</i>	-27,952800	-49,873100

Araucaria angustifolia	-27,928900	-50,105000
Araucaria angustifolia	-27,901389	-51,155000
Araucaria angustifolia	-27,900717	-49,790895
Araucaria angustifolia	-27,899200	-50,760800
Araucaria angustifolia	-27,890300	-52,227500
Araucaria angustifolia	-27,832778	-50,346944
Araucaria angustifolia	-27,797200	-49,489200
Araucaria angustifolia	-27,700300	-49,333600
Araucaria angustifolia	-27,689200	-51,130000
Araucaria angustifolia	-27,634200	-52,273900
Araucaria angustifolia	-27,630000	-50,996667
Araucaria angustifolia	-27,629167	-49,410833
Araucaria angustifolia	-27,485114	-50,804858
Araucaria angustifolia	-27,484200	-50,380300
Araucaria angustifolia	-27,461700	-51,906400
Araucaria angustifolia	-27,401667	-51,224722
Araucaria angustifolia	-27,361111	-51,567778
Araucaria angustifolia	-27,214400	-49,643100
Araucaria angustifolia	-27,096400	-52,618300
Araucaria angustifolia	-27,070800	-51,661700
Araucaria angustifolia	-26,960800	-50,426700
Araucaria angustifolia	-26,919400	-49,066100
Araucaria angustifolia	-26,907336	-51,388300
Araucaria angustifolia	-26,897800	-49,231700
Araucaria angustifolia	-26,861249	-50,963991
Araucaria angustifolia	-26,775300	-51,015000
Araucaria angustifolia	-26,484400	-51,990600
Araucaria angustifolia	-26,432100	-49,512344
Araucaria angustifolia	-26,427500	-51,315600
Araucaria angustifolia	-26,304400	-48,845600
Araucaria angustifolia	-26,276900	-52,783900
Araucaria angustifolia	-26,255556	-49,304444
Araucaria angustifolia	-26,250300	-49,378600
Araucaria angustifolia	-26,238100	-51,078300

Araucaria angustifolia	-26,177200	-50,389700
Araucaria angustifolia	-26,106700	-50,321900
Araucaria angustifolia	-25,979700	-52,567800
Araucaria angustifolia	-25,928300	-49,198900
Araucaria angustifolia	-25,788611	-49,726111
Araucaria angustifolia	-25,695600	-51,659700
Araucaria angustifolia	-25,583900	-49,635600
Araucaria angustifolia	-25,534700	-49,206400
Araucaria angustifolia	-25,476900	-48,834200
Araucaria angustifolia	-25,467200	-50,651100
Araucaria angustifolia	-25,449700	-52,908100
Araucaria angustifolia	-25,444700	-49,192500
Araucaria angustifolia	-25,442778	-49,236944
Araucaria angustifolia	-25,441700	-49,063300
Araucaria angustifolia	-25,427800	-49,273100
Araucaria angustifolia	-25,419694	-49,998639
Araucaria angustifolia	-25,413300	-50,547500
Araucaria angustifolia	-25,407800	-52,416100
Araucaria angustifolia	-25,401889	-49,114917
Araucaria angustifolia	-25,364306	-49,260167
Araucaria angustifolia	-25,331111	-53,965833
Araucaria angustifolia	-25,321944	-49,159166
Araucaria angustifolia	-25,291700	-49,224200
Araucaria angustifolia	-25,203300	-53,156700
Araucaria angustifolia	-25,100842	-50,164783
Araucaria angustifolia	-25,069889	-51,572611
Araucaria angustifolia	-25,042800	-51,529700
Araucaria angustifolia	-25,023900	-50,584200
Araucaria angustifolia	-24,823600	-49,261100
Araucaria angustifolia	-24,791100	-50,011900
Araucaria angustifolia	-24,557500	-48,678900
Araucaria angustifolia	-24,206139	-52,309861
Araucaria angustifolia	-24,143056	-50,308417
Araucaria angustifolia	-24,048611	-52,360750

Araucaria angustifolia	-24,000000	-48,340000
Araucaria angustifolia	-22,730000	-45,590000
Araucaria angustifolia	-22,581944	-45,319722
Araucaria angustifolia	-22,509200	-45,280000
Araucaria angustifolia	-22,496100	-44,563100
Araucaria angustifolia	-22,390300	-44,966700
Araucaria angustifolia	-22,089200	-43,827800
Araucaria angustifolia	-22,365859	-44,777580
Araucaria angustifolia	-22,682975	-45,443442
Araucaria angustifolia	-25,072700	-49,949880
Araucaria angustifolia	-24,992029	-49,075092
Araucaria angustifolia	-26,464786	-52,577637
Araucaria angustifolia	-25,910771	-52,334173
Araucaria angustifolia	-25,036653	-51,399314
Araucaria angustifolia	-26,511590	-51,387869
Araucaria angustifolia	-25,480690	-50,560832
Araucaria angustifolia	-25,790381	-49,683011
Araucaria angustifolia	-23,882358	-52,805372
Araucaria angustifolia	-25,256096	-52,775222
Araucaria angustifolia	-25,135323	-53,656960
Araucaria angustifolia	-25,144077	-53,795608
Araucaria angustifolia	-25,077754	-53,685444
Araucaria angustifolia	-25,421660	-53,898655
Araucaria angustifolia	-25,339423	-53,649409
Araucaria angustifolia	-24,803904	-53,347068
Araucaria angustifolia	-25,007676	-53,344417
Araucaria angustifolia	-25,023667	-52,982184
Araucaria angustifolia	-26,501137	-52,213178
Araucaria angustifolia	-22,137135	-44,724420
Araucaria angustifolia	-22,870778	-46,437500
Araucaria angustifolia	-22,465278	-45,076667
Araucaria angustifolia	-22,553816	-45,242213
Araucaria angustifolia	-22,887067	-46,058324
Araucaria angustifolia	-22,547680	-45,357291

Araucaria angustifolia	-29,191667	-50,097500
Araucaria angustifolia	-29,100630	-49,989019
Araucaria angustifolia	-29,312480	-50,854888
Araucaria angustifolia	-29,480123	-50,513032
Araucaria angustifolia	-29,358745	-50,594182
Araucaria angustifolia	-28,335256	-52,173173
Araucaria angustifolia	-28,180091	-52,067641
Araucaria angustifolia	-29,079628	-50,079266
Araucaria angustifolia	-28,727214	-50,424031
Araucaria angustifolia	-29,120556	-50,575556
Araucaria angustifolia	-27,833221	-50,285881
Araucaria angustifolia	-28,582898	-49,663465
Araucaria angustifolia	-28,332611	-49,865347
Araucaria angustifolia	-28,852529	-51,282388
Araucaria angustifolia	-27,337535	-50,526193
Araucaria angustifolia	-26,539180	-52,443332
Araucaria angustifolia	-27,082113	-51,219857
Araucaria angustifolia	-27,081364	-51,146744
Araucaria angustifolia	-26,788463	-51,948566
Araucaria angustifolia	-28,192915	-51,620526
Araucaria angustifolia	-27,935840	-51,836499
Araucaria angustifolia	-27,908159	-52,833524
Araucaria angustifolia	-27,371631	-53,004627
Araucaria angustifolia	-27,161689	-52,640943
Araucaria angustifolia	-27,003927	-51,895898
Araucaria angustifolia	-26,381610	-50,140342
Araucaria angustifolia	-26,347608	-49,913914
Araucaria angustifolia	-26,163755	-51,544451
Araucaria angustifolia	-25,833454	-52,012626
Araucaria angustifolia	-24,627958	-51,585401
Araucaria angustifolia	-27,885828	-50,939913
Araucaria angustifolia	-25,869862	-50,354321
Araucaria angustifolia	-25,703761	-51,260121
Araucaria angustifolia	-28,795706	-52,000010

Araucaria angustifolia	-28,219273	-52,498112
Araucaria angustifolia	-24,588724	-50,493241
Araucaria angustifolia	-26,245169	-52,658501
Araucaria angustifolia	-26,308177	-53,238961
Araucaria angustifolia	-24,896061	-52,202252
Araucaria angustifolia	-24,776889	-51,742707
Araucaria angustifolia	-26,008565	-51,982377
Araucaria angustifolia	-25,470458	-52,399843
Araucaria angustifolia	-25,794865	-52,236085
Araucaria angustifolia	-25,769406	-52,125070
Araucaria angustifolia	-26,768089	-53,050370
Araucaria angustifolia	-26,858356	-52,991353
Araucaria angustifolia	-27,065007	-52,338335
Araucaria angustifolia	-26,907292	-52,399320
Araucaria angustifolia	-27,254308	-52,041734
Araucaria angustifolia	-27,481604	-53,102466
Araucaria angustifolia	-27,614676	-53,493447
Araucaria angustifolia	-28,710004	-52,625714
Araucaria angustifolia	-29,051567	-52,298156
Araucaria angustifolia	-29,107138	-52,324269
Araucaria angustifolia	-29,350570	-50,833913
Araucaria angustifolia	-24,588715	-51,255035
Araucaria angustifolia	-24,055828	-50,713383
Araucaria angustifolia	-25,185048	-53,257578
Araucaria angustifolia	-25,170720	-53,354814
Araucaria angustifolia	-25,432744	-53,721307
Araucaria angustifolia	-26,032049	-53,489336
Araucaria angustifolia	-26,011712	-49,664680
Araucaria angustifolia	-26,049180	-49,542875
Araucaria angustifolia	-26,187037	-49,235855
Araucaria angustifolia	-26,494582	-49,509937
Araucaria angustifolia	-26,614901	-49,528074
Araucaria angustifolia	-27,581907	-50,142058