

**MONIQUE BOHORA SCHLICKMANN**

**TRAÇOS FUNCIONAIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA FLORESTA OMBRÓFILA  
MISTA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dr<sup>a</sup> Ana Carolina da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Higuchi

**LAGES  
2018**



Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Schlickmann, Monique Bohora

Traços funcionais de espécies arbóreas da Floresta  
Ombrófila Mista no contexto das mudanças climáticas /  
Monique Bohora Schlickmann. - Lages , 2018.

76 p.

Orientadora: Ana Carolina da Silva

Co-orientador: Pedro Higuchi

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2018.


1. Aquecimento global. 2. Conservação. 3.  
Ecologia funcional. I. da Silva, Ana Carolina. II.  
Higuchi, Pedro. , .III. Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal. IV. Título.


**MONIQUE BOHORA SCHLICKMANN**

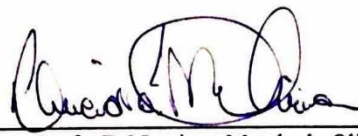
**TRAÇOS FUNCIONAIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA FLORESTA  
OMBRÓFILA MISTA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal.

**Banca examinadora**

**Orientadora:**   
Prof. Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina da Silva  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

**Membro:**   
Prof. Dr. Nivaldo Peroni  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Membro:**   
Prof. Dr.<sup>a</sup> Luciana Magda de Oliveira  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

**Lages, 22 de junho de 2018**



Aos meus pais e minha avó, Denise Bohora, Silvino Schlickmann e Terezinha Miguel Bohora, por todo amor e carinho e por sempre acreditarem nos meus sonhos, dedico.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por não me desamparar nos momentos difíceis e me tornar cada dia mais forte.

À minha orientadora e coorientador, Ana Carolina da Silva e Pedro Higuchi, que são, para mim, exemplos de profissionais e pessoas do bem. Obrigada por todos os ensinamentos, paciência, suporte e confiança depositados a mim.

Aos meus familiares pelo amor incondicional, e que, mesmo estando distantes, se mantiveram incansáveis em suas manifestações de apoio e carinho. Agradeço: à minha mãe, Denise Bohora; ao meu pai, Silvino Schlickmann; à minha avó, Terezinha Miguel; à minha irmã, Marília Bohora; aos meus tios, Adelina Bohora e Sergio Vieira; e ao meu padrasto, Eloi Schlickmann.

Ao meu companheiro, Lucas Pizzetti, por me apoiar em todos os momentos e fazer dos meus sonhos os seus.

Aos amigos: Giovana Cardoso, Inajara Vieira, Ellen Magagnin, Willian Johnson, Tayane Mendes, Hellen Munique e Frederico Muneretto, que não mediram esforços para me visitar, construindo lembranças memoráveis.

Aos colegas do Laboratório de Dendrologia, por todas experiências, apoio nas coletas de campo, e também pelas conversas divertidas.

À professora Luciana Oliveira, por todo apoio e gentileza, e também por participar desta banca.

À minha amiga Caroline Nunes, por todo companheirismo e por sempre acreditar no meu potencial.

Aos amigos que conheci nessa caminhada e que fizeram parte de grandes momentos: Jaqueline Dreyer, Edilaine Duarte, Maycon Thuan, Sabrina Freitas, Manuela Contezini, Beatriz Freitas, Tarik Cuchi, Luis Paulo Schorr, Kemily Alves, Francielle Vieira, Dianyne Matteucci e Guga Santos.

Ao professor Nivaldo Peroni, pela participação nesta banca.

A UDESC, pela oportunidade de realização do mestrado em Engenharia Florestal e a FUMDES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq, pelo financiamento do projeto pelo Edital MCTI/CNPQ/Universal 14/2014.

E a todos aqueles que de uma maneira ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho. Obrigada!





“A natureza vencerá no final e, por enquanto, estou  
do lado dos perdedores. ”  
(Ian Tchagra Little - Entre Reinos)



## RESUMO

O aquecimento global tornou-se uma das maiores preocupações mundiais, sendo a extinção de espécies da flora e da fauna uma de suas consequências mais graves. Considerando que os traços funcionais de espécies têm influência sobre a performance dos indivíduos sob diferentes cenários ambientais, o presente estudo teve como objetivo caracterizar os traços funcionais das espécies arbóreas mais frequentes da Floresta Ombrófila Mista (FOM), e analisar quais representarão vantagens ou desvantagens competitivas diante de um cenário de mudanças climáticas. Para as espécies selecionadas, foram obtidos os seguintes traços funcionais: densidade da madeira, área foliar, área foliar específica, regime de renovação foliar, síndrome de dispersão, altura máxima, tipo do fruto, presença de dormência nas sementes e tolerância à dessecação das sementes. As distribuições geográficas das espécies foram modeladas por meio do algoritmo de Máxima Entropia (MaxEnt), em função de variáveis climáticas. Para a predição do impacto das mudanças climáticas no ano de 2070, utilizou-se um cenário mais otimista e outro mais pessimista, com base no quinto relatório do IPCC. Os traços foram ordenados pela Análise de Componentes Principais, a fim de identificar os agrupamentos funcionais das espécies. A relação entre os traços funcionais e a mudança da área de adequabilidade climática das espécies foi avaliada por meio de uma árvore de regressão. No cenário mais pessimista, *Vernonanthura discolor* (Spreng.) H. Rob., *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. e *Sapium glandulosum* (L.) Morong. foram as espécies que apresentaram maior redução nas suas áreas de adequabilidade climática: -71,85%, -58,54% e -44,90%, respectivamente. No cenário mais otimista, destacaram-se *Vernonanthura discolor* (-30,8%), *Sapium glandulosum* (-20,5%) e *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (-15,2%). Apenas no cenário pessimista os traços funcionais foram preditivos das mudanças nas áreas de adequabilidade climática. Enquanto espécies de folhas mais coriáceas ( $AFE < 136,4 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ), mais adaptadas ao frio, terão uma redução média da área de adequabilidade climática de 37,86%, as espécies de folhas mais membranáceas ( $AFE \geq 136,4 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) terão uma redução média de 19,88%. Conclui-se que as espécies mais afetadas com as mudanças climáticas serão aquelas mais adaptadas ao frio, como por exemplo, *A. angustifolia*. O fato desta espécie ser a segunda mais sensível às mudanças no cenário mais pessimista e inserida também no grupo funcional mais impactado, sugere que a FOM poderá ter uma acentuada redução de sua extensão no futuro.

**Palavras-chave:** Aquecimento global. Conservação. Ecologia funcional.



## ABSTRACT

The global warming become one of the biggest worldwide concern, becoming the extinction of the flora and fauna species one of the most relevant consequences. Considering that the functional species traits have influence on the individual's performance under different environmental scenarios, the present study has the objective to characterize the functional traits of the most frequent arboreal species of the Mixed Ombrophilous Forest (FOM), and to analyze which will represent competitive advantages and disadvantages in a climatic changes scenario. For the selected species, the following functional traits were obtained; wood density, leaf area, specific leaf area, leaf renovation regime, dispersal syndrome, maximum height, fruit type, seeds dormancy presence and seed desiccation tolerance. The geographic distributions of the species were modeled by maximum entropy algorithm (MaxEnt) in function of climatic variations. For prediction of the impact from the climatic changes in 2070, the most optimist scenario and the most pessimist based on the fifteen report of IPCC were used. The functional traits were ordinated by Principal Components Analysis to identify the species functional groups. The relationship between functional traits and the changing of species climatic suitability area was evaluated using regression trees. In the most pessimist scenario, *Vernonanthura discolor* (Spreng.) H. Rob., *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. and *Sapium glandulosum* (L.) Morong. were the species with the greatest reduction in climatic suitable areas: - 71.85%, -58.54% e -44.90%, respectively. In the most optimist scenario, stood out *Vernonanthura discolor* (-30,8%), *Sapium glandulosum* (-20,5%) e *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (-15,2%). Only in the pessimist scenario the functional traits were predictive of the changes in the climatic suitable areas. While tougher leaf species ( $AFE < 136,4 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$ ), more adapted to the cold, will have an average reduction in the area of climatic suitability of 36,6%, more membranaceous leaf species ( $AFE \geq 136.4 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$ ) will have an average reduction of 19.88%. We conclude that the most affected species by the climate changes will be those that are more adapted to the cold, such as *A. angustifolia*. The fact that this species will be the second most sensitive to the climatic changes according the worst scenario as well as be inserted in the most impacted functional group suggest that FOM may have a marked reduction of its extension in the future.

**Key Words:** Global warming. Conservation. Functional ecology.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa das áreas onde coletou-se os traços funcionais das espécies estudadas no estado de Santa Catarina.....	33
Figura 2 -	Ordenação produzida por Análise de Componentes Principais (PCA) a partir dos traços funcionais das espécies arbóreas estudadas da Floresta Ombrófila Mista. DO.S = sementes dormentes; DO.N = sementes não dormentes; TF.SI = tipo do fruto seco indeiscente; TF.SD= tipo do fruto seco deiscente; TF.CI= tipo do fruto carnoso indeiscente; TF.CD= tipo do fruto carnoso deiscente; SD.NZ= síndrome de dispersão não-zoocórico; SD.Z= síndrome de dispersão zoocórico; RF.D= regime de renovação foliar decíduo; RF.P= regime de renovação foliar perenifólio; CA.R= tolerância a dessecação do tipo sementes recalcitrantes; CA.O= tolerância a dessecação do tipo sementes ortodoxas; AFE= área foliar específica; AF= área foliar; DM= densidade da madeira; h= altura máxima potencial.....	41
Figura 3 -	Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies mais instáveis, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário otimista de mudança climática (RCP 2.6). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.....	43
Figura 4 -	Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies com maior estabilidade, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário otimista de mudança climática (RCP 2.6). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.....	44
Figura 5 -	Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies mais instáveis, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário pessimista de mudança climática (RCP 8.5). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.....	46
Figura 6 -	Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies mais estáveis, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário pessimista de mudanças climáticas (RCP 8.5). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro;	



	cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.....	47
Figura 7 -	Árvore de regressão (Erro Relativo = 0,80) para a resposta das espécies quanto aos impactos de mudanças climáticas, conforme o cenário mais pessimista (RCP 8.5), do IPCC, para o ano de 2070, expressa pela redução da área de adequabilidade climática na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, em função dos seus respectivos traços funcionais. AFE = área foliar específica.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Traços funcionais estudados e suas respectivas importâncias em relação aos processos que influenciam no desenvolvimento das espécies arbóreas.....	31
Tabela 2 -	Áreas de Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina onde foram coletados os traços funcionais, com respectivas coordenadas geográficas e altitudes dos pontos centrais dos fragmentos estudados.....	34
Tabela 3 -	Traços funcionais das 16 espécies arbóreas típicas da Floresta Ombrófila Mista, ordenadas em ordem alfabética, e redução das áreas de ocorrência potencial (RA, em %) dessas espécies com base nas mudanças climáticas para o ano 2070, conforme um cenário otimista (RA <sub>O</sub> , RCP 2.6) e mais pessimista (RA <sub>P</sub> , RCP 8.5) de mudanças climáticas previsto pelo IPCC.....	39



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Área foliar
AFE	Área foliar específica
CAP	Circunferência a altura do peito
cm <sup>2</sup>	Centímetro quadrado
cm <sup>2</sup> /g	Centímetro quadrado por grama
Dm	Densidade da madeira
FOM	Floresta Ombrófila Mista
g.cm <sup>-3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GEE	Gases causadores do efeito estufa
h	Altura máxima potencial
ind.	Indivíduo
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
m	Metro
mm	Milímetro
°C	Graus Celsius
ONU	Organização das Nações Unidas
RCP	Caminho representativo de concentração de gases causadores do efeito estufa
SD	Sistema de dispersão
TRY	A Global Database of Plant Traits
TSS	True Skill Statistics



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1	SELEÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS E OBTENÇÃO DOS DADOS DE OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA.....	31
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS FUNCIONAIS.....	31
3.3	OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS CONTEMPORÂNEOS E FUTUROS.....	35
3.4	ANÁLISE DE DADOS.....	35
3.4.1	Traços funcionais.....	35
3.4.2	Impacto das mudanças climáticas sobre as áreas de adequabilidade climática das espécies.....	36
3.4.3	Traços funcionais x impacto de mudanças climáticas.....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>61</b>







## 1 INTRODUÇÃO

Compreender como as comunidades estão organizadas é um antigo foco das ciências naturais (BURNS, 2007; ELIOT, 2007). Porém, atualmente, novos interesses na área de ecologia visam prever, também, as alterações futuras na distribuição ou na existência de espécies em diferentes locais. Assim, estudos que visam a conservação das florestas se tornam cada vez mais direcionados para a relação das características morfofuncionais das espécies arbóreas e suas condições de adaptação perante a heterogeneidade ambiental existente (WALKER, 1997), presente e futura, possibilitando um maior entendimento sobre a organização e o funcionamento de ecossistemas florestais.

Em seu quinto relatório de avaliação (IPCC, 2013), o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), da Organização das Nações Unidas (ONU), indicou que o planeta tem experimentado um período de aquecimento global em decorrência da emissão crescente de gases causadores do efeito estufa (GEE). Diante deste cenário, é inequívoco os impactos potenciais que as mudanças climáticas globais terão sobre os ecossistemas florestais naturais (RANDIN et al., 2009), uma vez que todas as espécies arbóreas apresentam um nicho climático específico, no qual conseguem se desenvolver com maior eficiência (THUILLER et al., 2005). De forma geral, variáveis climáticas como a temperatura e a pluviosidade são determinantes para as atividades fisiológicas das plantas, com consequente influência sobre a distribuição geográfica das mesmas. Assim, espera-se que uma das consequências de alterações no clima seja a mudança na composição florística de florestas (IVERSON; PRASAD, 1998), promovida pelo deslocamento das espécies, com a saída daquelas que não encontram condições ambientais propícias ao desenvolvimento e com a chegada de espécies mais bem adaptadas às novas condições de temperatura e pluviosidade.

Neste sentido, estudos que evidenciam os diferentes mecanismos adaptativos que as espécies de plantas desenvolvem e a influência destes sobre a funcionalidade dos ecossistemas (CORNELISSEN et al., 2003; WEBB et al., 2010) são importantes, já que podem definir a capacidade competitiva e a coexistência das espécies (BEGON; WALL, 1987; CALLAWAY et al., 2003), suas capacidades de invasão (SEXTON et al., 2001; RICHARDS et al., 2006), o funcionamento da comunidade quando é alterada a dinâmica de nutrientes (MADRITCH; HUNTER, 2003), a produtividade da planta (NORBERG et al., 2001) e também a resistência a perturbações (REUSCH et al., 2005; GAMFELDT; KALLSTROM, 2007).

Dentre as fitofisionomias do Domínio Atlântico da região Sul do Brasil, a Floresta Ombrófila Mista (FOM) destaca-se devido ao seu potencial cênico e à importância de espécies arbóreas como a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, que ocorre em elevada frequência e

com indivíduos de grande porte. A espécie já foi considerada o principal item da economia florestal do país, devido à sua madeira de alta qualidade e valor econômico (MELO et al., 2010). Além disto, *A. angustifolia* produz o pinhão, que é utilizado tanto na alimentação da fauna nativa, quanto para a alimentação humana (REITZ et al., 1978).

No Brasil, a área original de FOM era, aproximadamente, de 200.000 km<sup>2</sup>, ocorrendo, maioritariamente, nos estados do Paraná (40%), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%), e também em pequenas áreas no estado de São Paulo (3%), Rio de Janeiro e Minas Gerais (1%) (MEDEIROS et al., 2005). Porém, estima-se que, atualmente, os remanescentes da FOM em estágio avançado não totalizam mais de 0,7% da sua área original (KANIESKI et al., 2010). Isso a insere entre as tipologias mais ameaçadas do bioma Mata Atlântica (GILSA et al., 2014) e enfatiza ainda mais a importância de estudos nesta formação florestal, que se desenvolve, predominantemente, nas áreas de maior altitude e temperaturas mais frias do bioma, especialmente na região Sul do Brasil.

Considerando o exposto e partindo-se do princípio de que o clima é determinante para o estabelecimento de espécies em um determinado local, a investigação sobre o nicho climático de espécies florestais é prioritária para a conservação em um cenário de aquecimento global futuro. Neste sentido, abordagens que realizam a avaliação da ecologia funcional das espécies são de grande relevância, considerando que a relação entre estes diferentes aspectos - clima e traços funcionais - irão ser determinantes no processo de montagem das comunidades biológicas (WRIGHT et al., 2005; MASON et al., 2007; LEBRIJA-TREJOS et al., 2010). Infere-se que traços funcionais específicos, como aqueles relacionados com as respostas das espécies vegetais diante de variações do clima e de regime de distúrbios (GUITAY; NOBLE, 1997; DIAZ; CABIDO, 2001), sejam relevantes no que se refere à resiliência das mesmas frente aos impactos de mudanças climáticas. Assim, os traços funcionais que serão considerados em análises com abordagens desta natureza devem estar de acordo com as questões ecológicas em que estão envolvidos (PETCHEY; GASTON, 2006; PETCHEY; O'GORMAN; FLYNN, 2009).

Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivos: i) caracterizar os traços funcionais de densidade da madeira, características foliares e de altura, e àqueles relacionados à reprodução das espécies mais frequentes da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil; ii) modelar a distribuição geográfica das diferentes espécies em função de variáveis climáticas; e iii) verificar quais traços funcionais das espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista representarão vantagens ou desvantagens competitivas em diferentes cenários de mudanças climáticas. Espera-se que as respostas das espécies arbóreas, frente a diferentes cenários de mudanças climáticas, resultem em mudanças de suas áreas de ocorrência, que são mediadas por

seus respectivos traços funcionais. Dentro desta expectativa, partimos da premissa de uma maior tropicalidade para a região Sul do Brasil (SALAZAR et al., 2007). Desta forma, com base na literatura existente sobre a relação entre traços funcionais e o clima (WRIGHT et al., 2004; CHAVE et al., 2009; DE CASAS et al., 2017), testou-se a hipótese de que as espécies com menor sensibilidade às mudanças climáticas serão aquelas que apresentam traços funcionais que permitem vantagem competitiva em locais relativamente mais quentes e úmidos (maior densidade da madeira, maior área foliar específica e ausência de sementes dormentes).



## 2 REVISÃO BIBLOGRÁFICA

As sociedades contemporâneas enfrentam uma problemática global conhecida como “Mudanças climáticas” (URRY, 2015). Apesar da teoria do efeito estufa ser conhecida há mais de um século, apenas recentemente cientistas começaram a discutir e analisar as consequências do aquecimento global, decorrente do aumento desse efeito e que irá resultar em tais mudanças do clima no planeta (URRY, 2015). Em 2007, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) afirmou que o ser humano tem conseguido alterar o clima por meio, principalmente, do seu consumismo exacerbado que resulta em aumento na produção dos gases de efeito estufa. De fato, esses gases apresentam, atualmente, as maiores concentrações registradas desde os últimos 650.000 anos (WELZER, 2010).

As mudanças climáticas estão alterando os regimes de precipitação e da temperatura, o que poderá resultar em uma ampliação das zonas desérticas (IPCC, 2013), e também um aumento de condições climáticas extremas, como tempestades, períodos de frio intensos, chuvas torrenciais, entre outros (MÜNZ, 2006). Os efeitos destas condições ocasionarão prejuízos de toda ordem e, mesmo que ainda não se apresentem dados exatos para a previsão dos eventos que se sucederão, é notório que tais processos terão amplo efeito sobre o reino animal e vegetal (MÜNZ, 2006). Diante deste cenário, espera-se que a biodiversidade seja impactada, com a perda de espécies (WELZER, 2010).

Segundo Salazar et al. (2007), clima e vegetação interagem tanto em escala temporal quanto espacial, sendo o clima considerado fator determinante na distribuição da vegetação em todo o globo (PRENTICE, 1990). Esta interação pode ser confirmada pelo padrão global de cobertura da vegetação e do clima, onde savanas, desertos, florestas tropicais ou outros tipos de vegetação são definidos, primordialmente, em função do tipo de clima (SALAZAR et al., 2007).

Foi comprovado que as espécies podem tolerar uma variação moderada no clima devido às suas plasticidades fenotípicas (JUMP; PENUELAS, 2005), porém, existe uma ressalva quando se consideram as mudanças climáticas que ocorrem de forma acelerada, o que poderá ocasionar respostas negativas das espécies (DAVIS; SHAW, 2001; JUMP; PENUELAS, 2005). Alguns estudos corroboram com o exposto (OYAMA; NOBRE, 2003; COX et al., 2004; SCHOLZE et al., 2006; COOK; VIZY, 2008), demonstrando que nas áreas de florestas tropicais na América do Sul haverá um forte impacto, podendo tornar-se, futuramente, áreas completamente descobertas por vegetação devido às mudanças climáticas.

Neste sentido, prever a resposta das espécies em relação às mudanças climáticas tornou-se um campo de pesquisa dinâmico (SALAZAR et al., 2007; DILLON et al., 2010; GILMAN et al., 2010; PEREIRA et al., 2010; SALAMIN et al., 2010; BEAUMONT et al., 2011;

DAWSON et al. 2011; MCMAHON et al. 2011; BROWN et al., 2015; PACIFICI et al., 2015; CHAPMAN et al., 2016;) e de grande relevância. Com a resposta destas previsões, será possível elaborar novas estratégias para a conservação ambiental (HIGUCHI et al., 2013) ou ainda, definir estratégias para reduzir os impactos causados à biodiversidade por consequência destas mudanças (PEREIRA et al., 2010; PARMESAN et al., 2011).

Dentro deste contexto, o estudo dos traços funcionais pode auxiliar neste processo, já que os mesmos representam características morfológicas e fisiológicas das plantas que estão diretamente ligadas com suas respectivas performances no estabelecimento e no desenvolvimento em determinados locais (REICH et al., 2003; VIOLLE et al., 2007). Deste modo, infere-se que traços funcionais específicos, como aqueles relacionados com as respostas das espécies vegetais diante de variações do clima e de regime de distúrbios (GUITAY; NOBLE, 1997; DIAZ; CABIDO, 2001), sejam relevantes no que se refere à resiliência das mesmas frente aos impactos de mudanças climáticas. Assim, os traços funcionais que serão considerados em análises com abordagens desta natureza devem estar de acordo com as questões ecológicas em que estão envolvidos (PETCHEY; GASTON, 2006; PETCHEY; O'GORMAN; FLYNN, 2009). Caso contrário, poderão ocasionar na redundância funcional da comunidade estudada (ROSENFELD, 2002; PETCHEY; GASTON, 2006).

De fato, os traços funcionais das plantas podem apresentar variações que estão relacionadas com as diferentes estratégias ecológicas de uma comunidade (MISSIO et al., 2017). A densidade da madeira, por exemplo, realiza a função de suporte mecânico da copa, que é responsável pela realização da fotossíntese, sequestro de carbono, armazenamento de água, entre outros (CHAVE et al., 2009). A variação da área foliar e da área foliar específica demonstram relação com as taxas de crescimento e a capacidade de absorção de luz pela planta (CORNELISSEN et al., 2003; VALLADARES; BRITES, 2004), sendo que quanto menor a área foliar específica do indivíduo, mais coriáceas são suas folhas, e quanto maior essa área foliar específica, mais membranáceas são as folhas. O regime de renovação foliar relaciona-se com a sazonalidade climática ao longo do ano (GIVNISH, 1987), bem como com a eficiência do uso dos nutrientes pelas plantas, entre outros (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Já a altura máxima está associada às taxas de crescimento, competição por luz (CORNELISSEN et al., 2003; GIEHL et al., 2007; POORTER et al., 2008) e disseminação de diásporos, o que influencia na estratificação da floresta e indica o tipo de dispersão que está associado às diferentes alturas encontradas (e.g. em árvores emergentes é comum a dispersão anemocórica) (GIEHL et al., 2007).

Além das características funcionais citadas, os traços reprodutivos (e.g. tipo do fruto, síndrome de dispersão, presença de dormência nas sementes e tolerância quanto a dessecação

das sementes) também apresentam grande capacidade de revelar informações sobre o funcionamento e a estrutura das comunidades (CORNELISSEN et al., 2003; DIAZ; CABIDO, 1997; FONTAINE et al., 2006; MAYFIELD et al., 2005). A síndrome de dispersão, por exemplo, está associada à capacidade de estabelecimento e distribuição das espécies em novas áreas (BUDKE et al., 2005), relacionada diretamente com a distância de deslocamento de seus propágulos (CORNELISSEN et al., 2003), permitindo flutuações genéticas entre populações (VAN DER PIJL, 1982). Neste sentido, a estruturação e a dinâmica de comunidades é influenciada diretamente pela eficácia da dispersão (SINHA; DAVIDAR, 1992). O tipo do fruto fornece informações sobre os sistemas de dispersão mais adaptativas ao tipo de paisagem estudado, explicando também a abundância de determinadas espécies nestes locais (MABRY et al., 2000). Já em relação a tolerância à dessecação das sementes, remete ao comportamento de germinação das sementes quando há a perda de umidade (DIAS, 2014), refletindo em uma estratégia de regeneração natural das plantas. Assim como a dispersão, a dormência das sementes oferece auxílio durante períodos desfavoráveis no tempo (COHEN, 1966; MARKS, 1974; SARUKHAN, 1974) e no espaço (PLATT, 1975; COMINS et al., 1980; O'DOWD; HAY, 1980; HOWE; SMALLWOOD, 1982), garantindo o estabelecimento e a sobrevivência das espécies.

As espécies de plantas podem ainda ser divididas em dois grupos no que se refere a suas estratégias ecológicas: espécies com estratégias conservativas, que são aquelas que investem seus recursos em mecanismos de proteção da biomassa, conservando, assim, os recursos adquiridos, e espécies com estratégias aquisitivas, que possuem características que otimizam ou maximizam a captura de recursos pela planta (DÍAZ et al., 2004; REICH, 2014). Dessa forma, normalmente no grupo de estratégias conservativas encontram-se espécies com menor taxa de crescimento, menor área foliar específica e área foliar, e maior densidade da madeira, já as espécies com estratégias aquisitivas iram refletir características divergentes, como maior taxa de crescimento, maior área foliar e área foliar específica e menor densidade da madeira (REICH, 2014). Outra diferença observada entre estes grupos é que, enquanto no grupo de estratégias aquisitivas as espécies demonstram maior aptidão a ambientes com maior disponibilidade de recursos, o grupo de estratégias conservativas demonstra maior adaptabilidade a ambientes com baixa concentração de recursos (APAZA-QUEVEDO et al., 2015).

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma das fitofisionomias que compõem o bioma Mata Atlântica, apresentando a maior cobertura florestal deste bioma no Sul do Brasil, sendo, assim, considerada uma das unidades fitoecológicas mais significativas nessa região (KLEIN, 1978; CARVALHO, 2006; IBGE, 2012). Essa formação, geralmente, ocorre associada à

campos, que podem ser de origem natural ou antrópico. Esse mosaico de campos e florestas com araucárias faz parte de um processo de expansão e retração desses tipos vegetacionais, que ocorre tanto pelo desmatamento e manutenção do campo em diferentes épocas durante a história de colonização humanidade, como pelo processo natural de expansão e retração dos tipos vegetacionais influenciados pelas alterações climáticas pretéritas. Assim, pode-se considerar a FOM como uma paisagem cultural, que vem sendo construída desde a presença das primeiras ocupações pré-colombianas na região (GALVÃO; AUGUSTIN, 2011; REIS et al., 2014).

Devido à estacionalidade climática encontrada na FOM, ocasionada por períodos com baixas temperaturas e a ocorrência de geadas, esta formação florestal limita a expansão geográfica de uma variedade de espécies (HIGUCHI et al., 2013). Diante deste cenário, e por apresentar uma alta correlação com a temperatura (KANIESKI et al., 2012), a FOM pode ser considerada uma das formações florestais mais sensíveis as mudanças climáticas (BERTOLDO, 2014). Assim, infere-se que as espécies típicas desta fitofisionomia possuam características funcionais que facilitem sua sobrevivência em ambientes com temperaturas reduzidas, porém, estas mesmas características poderiam inviabilizar sua capacidade competitiva em ambientes com temperaturas superiores.

De fato, as diferentes características funcionais das espécies, associadas à um filtro ambiental, como por exemplo, as mudanças climáticas, irão limitar a distribuição de algumas espécies, selecionando as que apresentarão maiores vantagens adaptativas para o estabelecimento e a sobrevivência em determinados locais (DÍAZ et al., 1998, 1999; REICH et al., 2003). Com estas diferenças funcionais e posterior seleção de espécies, poderão ocorrer mudanças na estrutura e composição da vegetação, causando o surgimento de novas comunidades de plantas (WALTHER et al., 2002; WALTHER, 2003; HERRERO; ZAMORA, 2014). Neste sentido, classificar as espécies de acordo com seus traços funcionais permite agrupá-las com base em suas características morfológicas e fisiológicas (GUITAY; NOBLE, 1997; PILLAR; DUARTE, 2010), sendo que estes grupos responderão de forma semelhante às diferentes condições ambientais (CORNELISSEN et al., 2003).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 SELEÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS E OBTENÇÃO DOS DADOS DE OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA

Foram selecionadas as 16 espécies arbóreas mais representativas da FOM, consideradas como aquelas mais frequentes, segundo o trabalho de Jarenkow e Budke (2009): *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Prunus myrtifolia* (L.) Urb., *Matayba elaeagnoides* Radlk., *Sebastiania comersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & Downs, *Cedrela fissilis* Vell., *Myrsine umbellata* Mart., *Vernonanthura discolor* (Spreng.) H.Rob., *Allophylus edulis* (A.St.-Hill., Cambess. & A. Juss.) Radlk., *Blepharocalyx salicifolius* (kunth) O.Berg, *Camponanesia xanthocarpa* O.Berg, *Casearia decandra* Jacq., *Cupania vernalis* Cambess., *Sapium glandulosum* (L.) Morong, *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. e *Styrax leprosus* Hook. & Arn. As áreas de ocorrência das espécies foram obtidas a partir das coordenadas geográficas das mesmas, extraídas do banco de dados GBIF (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2017).

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS FUNCIONAIS

Foram caracterizados, para cada espécie selecionada, os traços funcionais de densidade básica da madeira ( $\text{g.cm}^{-3}$ ), área foliar ( $\text{cm}^2$ ), área foliar específica ( $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ ), altura máxima potencial (m), síndrome de dispersão (zoocoria ou não-zoocoria), regime de renovação foliar (decíduas ou perenes), tipo do fruto (seco deiscente e indeiscente; carnoso deiscente e indeiscente), presença ou ausência de dormência nas sementes e tolerância à dessecação das sementes (recalcitrantes ou ortodoxas). Tais traços funcionais, assim como suas relevâncias em relação aos processos que os mesmos influenciam as espécies (fisiológicos, ecológicos e morfológicos), foram determinados com base em Van der Pijl (1982) e Pérez-Harguindeguy et al. (2013) (Tabela 1).

Tabela 1- Traços funcionais estudados e suas respectivas importâncias em relação aos processos que influenciam no desenvolvimento das espécies arbóreas.

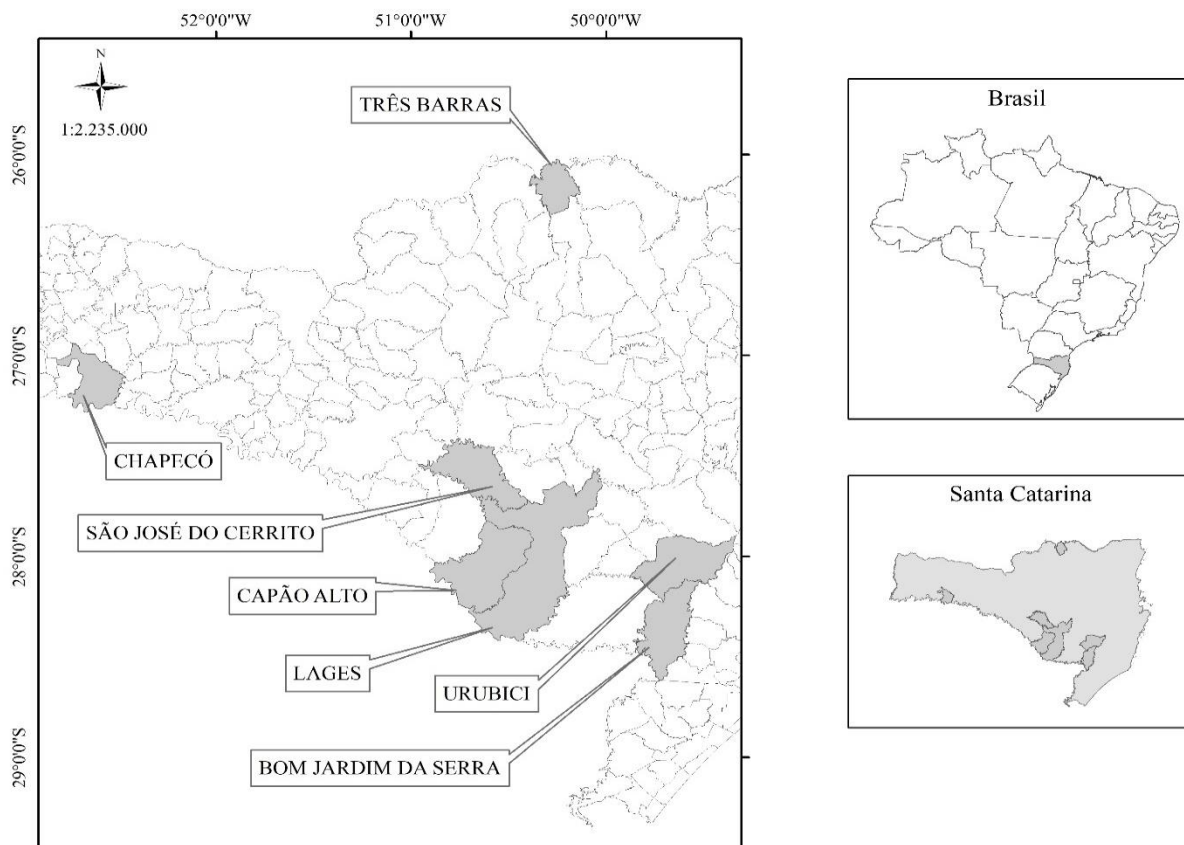
Traço funcional	Unidade	Tamanho amostral mínimo (por espécie)	Tamanho amostral preferencial (por espécie)	Processos fisiológicos relacionados
Densidade básica da madeira (DM)	$\text{g.cm}^{-3}$	5 ind.	10 ind.	Longevidade, crescimento, altura

				máxima, armazenamento de carbono.
Área foliar (AF)	cm <sup>2</sup>	5 ind. 10 folhas/ind.	10 ind. 20 folhas/ind.	Evapotranspiração e absorção de luz..
Área foliar específica (AFE)	cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup>	5 ind. 10 folhas/ind.	10 ind. 20 folhas/ind.	Crescimento relativo, capacidade fotossintética, absorção de carbono.
Regime de renovação foliar (RF)	Categórica	-	-	Longevidade foliar, sobrevivência durante períodos desfavoráveis, eficiência do uso de nutrientes.
Síndromes de dispersão (SD)	Categórica	-	-	Fecundidade, estruturação genética, regeneração, sobrevivência.
Altura máxima (h)	M	10 ind.	25 ind.	Competição por luz, crescimento, fecundidade.
Tipo do fruto (TF)	Categórica	-	-	Mecanismos de dispersão.
Presença de dormência (DO)	Categórica	-	-	Estabelecimento e sobrevivência da espécie. Persistência durante períodos desfavoráveis.
Tolerância à dessecação (CA)	Categórica	-	-	Estratégia de regeneração natural.

Fonte: Adaptada de Van der Pijl (1982) e Pérez-Harguindeguy et al. (2013).

Considerando a potencial influência da temperatura sobre os traços funcionais e a correlação desta variável com a altitude, indivíduos de cada espécie arbórea selecionada foram avaliados em diferentes pisos altitudinais, contemplando-se os seguintes municípios de Santa Catarina (Figura 1): Urubici, Bom Jardim da Serra, Lages, São José do Cerrito, Capão Alto, Três Barras e Chapecó (Tabela 2). De forma complementar aos dados obtidos em campo, utilizou-se também informações referentes aos traços funcionais estudados extraídas do banco de dados do Laboratório de Dendrologia do CAV/UDESC e do TRY- A Global Database of Plant Traits (SCHWEINGRUBER et al., 2005; WRIGHT et al., 2007; ROYAL BOTANICAL GARDENS KEW, 2008; CHAVE et al., 2009; FYLLAS et al., 2009; GREEN, 2009; MALHADO et al., 2009; POORTER et al., 2009; REICH et al., 2009; WIRTH; LICHSTEIN, 2009; BARALOTO et al., 2010; PENUELAS et al., 2010; KATTGE et al., 2011; WRIGHT et al., 2011; POWERS; TIFFIN, 2012; MANZONI et al., 2013; ZANNE et al., 2013; HAWKINS, dados não publicados; HIGUCHI, dados não publicados; POORTER, dados não publicados; WRIGTH, dados não publicados), contemplando coletas realizadas em outras regiões de ocorrência natural, incluindo aquelas fora da FOM.

Figura 1- Mapa das áreas onde coletou-se os traços funcionais das espécies estudadas no estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Tabela 2- Áreas de Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina onde foram coletados os traços funcionais, com respectivas coordenadas geográficas e altitudes dos pontos centrais dos fragmentos estudados.

ÁREA	COORDENADAS	ALTITUDE
Bom Jardim da Serra	28°20'30" S e 49°44'33" W	1350
Capão Alto	28°11'29" S e 50°45'34" L	660
Chapecó	27°06'07.2" S e 52°45'52.5" W	600
Lages	27°51'54" S e 50°11'11" W	1000
São José do Cerrito	27°44'16" S e 50°28'51" W	900
Três Barras	26°12'52.8" S e 50°18'52.1" W	600
Urubici	28°04'24" S e 49°37'12" W	1600

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Para a obtenção da densidade básica da madeira, utilizou-se o protocolo de Chave (2005), realizando-se a coleta de amostras de, no mínimo, cinco indivíduos com o diâmetro na altura do peito (DAP) entre 10 a 30 cm, de cada espécie e por área estudada, utilizando-se um trado de incremento de 5,15 mm. As amostras, no laboratório, foram imersas em água a fim de obter a sua massa úmida, pelo método de deslocamento de água (princípio de Arquimedes), no qual a medida da massa de água deslocada é igual ao volume da amostra da madeira imersa. Em seguida, as amostras de madeira foram inseridas em estufa na temperatura de 67°C, para a obtenção da massa seca. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g e a determinação da densidade básica da madeira foi realizada pela razão da massa seca (g) e seu volume (cm<sup>3</sup>), de acordo com a norma NBR 11941-02 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Para a obtenção da área foliar e da área foliar específica, utilizou-se o protocolo proposto por Pérez-Harguindeguy et al. (2013), sendo realizada a coleta de, no mínimo, 10 folhas por indivíduo (5 ind. por espécie, por área de estudo), preferencialmente as sadias, localizadas no terço mediano da copa. Em seguida, as folhas, incluindo os pecíolos e, para folhas compostas, as raques, foram fotografadas, sendo a área foliar determinada por meio do programa ImageJ (RASBAND, 2007). Em seguida, as folhas foram condicionadas em sacos e inseridas na estufa na temperatura de 67°C para a sua secagem. Após, estas foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g para obtenção de seu peso seco. A área foliar específica foi obtida pela razão entre a área foliar (cm<sup>2</sup>) e a massa seca das folhas (g).

A determinação dos demais traços funcionais foi obtido por meio de revisão da literatura e observações a campo: altura máxima potencial (LORENZI 2002, 2008, 2009), regime de renovação foliar (LORENZI, 2002, 2008; CARVALHO, 2003), síndromes de dispersão (VAN DER PIJL, 1982; CARVALHO, 2003; BARDDAL; 2006; FERREIRA et al., 2013), tipo do fruto (CARVALHO, 2003; GOGOSZ, 2013; HALISKI et al., 2013), tolerância à dessecação (LONGHI, 1995; BARDDAL, 2006; CARVALHO et al., 2006; MEDEIROS; EIRA, 2006; JOSÉ et al., 2007; REGO et al., 2013; NUNES et al., 2015) e presença ou ausência de dormência (LONGHI, 1995; FLORIANO, 2004; MARTINS; LAGO, 2008; REGO et al., 2009; MORI, et al., 2012; HALISKI et al., 2013; ROCHA, 2013; SOUZA et al., 2015; GRZYBOWSKI, 2016).

### 3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS CONTEMPORÂNEOS E FUTUROS

Foram consideradas 19 variáveis climáticas, obtidas do banco de dados do WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) (HIJMANS et al., 2005), na resolução de 2,5 minutos, tanto para o clima contemporâneo quanto para o futuro (2070): Bio 1 (temperatura média anual); Bio 2 (média da amplitude térmica diária); Bio 3: (isotermalidade); Bio 4 (sazonalidade térmica); Bio 5 (temperatura máxima no mês mais quente); Bio 6 (temperatura mínima no mês mais frio); Bio 7 (amplitude térmica anual); Bio 8 (temperatura média no trimestre mais úmido); Bio 9 (temperatura média no trimestre mais seco); Bio 10 (temperatura média no trimestre mais quente); Bio 11 (temperatura média no trimestre mais frio); Bio 12 (precipitação total anual); Bio 13 (precipitação no mês mais úmido); Bio 14 (precipitação no mês mais seco); Bio 15 (sazonalidade da precipitação); Bio 16 (precipitação no trimestre mais úmido); Bio 17 (precipitação no trimestre mais seco); Bio 18: (precipitação no trimestre mais quente) e Bio 19 (precipitação no trimestre mais frio).

As condições climáticas futuras foram obtidas considerando o modelo de circulação atmosférica HADGEM2-ES, do MET OFFICE do Reino Unido, para um cenário otimista (+2,6 W/m<sup>2</sup>) e outro o mais pessimista (+8,5 W/m<sup>2</sup>), em relação à concentração de gases causadores do efeito estufa, segundo o IPCC em seu quinto relatório de avaliação (IPCC, 2013).

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

#### 3.4.1 Traços funcionais

Todas as espécies foram caracterizadas a partir dos valores médios e categorias (regime de renovação foliar = perenes ou decíduas; síndrome de dispersão = zoocóricas ou não-

zoocóricas, tipos de fruto: carnosos deiscentes, carnosos indeiscentes, secos deiscentes ou secos indeiscentes; dormência das sementes = dormentes ou não dormentes; tolerância à dessecação das sementes = recalcitrantes ou ortodoxas) dos seus traços funcionais, com o propósito de se inferir sobre as estratégias de vida das mesmas. Em seguida, para a identificação de agrupamentos funcionais, as espécies foram ordenadas por meio de uma Análise de Componentes Principais (PCA) de Hill-Smith (HILL; SMITH, 1976), que permite a inclusão de variáveis categóricas. Para isto, as variáveis foram padronizadas a partir da centralização da média das mesmas.

### **3.4.2 Impacto das mudanças climáticas sobre as áreas de adequabilidade climática das espécies**

O impacto das mudanças climáticas sobre a área de adequabilidade climática de cada espécie foi avaliado por meio da técnica de modelagem de nicho ecológico. Para isto, utilizou-se o algoritmo de Máxima Entropia (MaxEnt), por ter boas estimativas para estudos com poucos pontos de ocorrência. Como variáveis dependentes foram utilizadas as áreas de ocorrência geográfica das espécies e como variáveis explicativas foram consideradas as variáveis climáticas. Os dados de ocorrência geográfica foram espacialmente filtrados, com a seleção de apenas uma ocorrência em uma área de 2,5 x 2,5 km, considerando possíveis vieses relacionados com a coleta próxima de herbários, institutos de pesquisa e universidades (BORIA et al., 2014). Para fins de reduzir o conjunto de variáveis explicativas, visando eliminar as altamente correlacionadas para a modelagem dos nichos climáticos, removeram-se as variáveis multicolineares pelo Fator de Variância de Inflação (VIF), ou seja, todas as variáveis com  $VIF > 10$  (GRAHAM, 2003). Foram utilizadas 100 pseudo-ausências, distribuídas aleatoriamente para cada observação das espécies (LOBO; TOGNELLI, 2011), em torno de um raio de 1.000 km. Esse processo ocorreu duas vezes para cada espécie. Ainda, foram realizadas três rodadas de calibrações e testes dos ajustes, de forma que, para cada espécie, foram realizados um total de seis ajustes (duas distribuições de pseudo-ausências x três rodadas de calibração e teste). Os ajustes foram avaliados por meio da estatística True Skill Statistics (TSS), que varia de -1 a 1 (ALLOUCHE et al., 2006). Os valores de TSS indicam que, quanto mais próximo a 1, melhor é o ajuste do modelo. Ajustes com valores de  $TSS > 0,75$  são considerados excelentes, valores  $0,40 \leq TSS < 0,75$  são considerados bons, e valores  $TSS < 0,40$  são ruins.

Dessa forma, os resultados que obtiveram  $TSS > 0,40$  foram considerados de boa performance e, por isso, foram utilizados, de forma consensual, para as projeções contemporânea e futura das áreas com adequabilidade climática para as espécies selecionadas

para a área de domínio da FOM. As projeções consensuais, presentes e futuras, para cada uma das espécies foram transformados em mapas binários (presença e ausência), sendo em seguida sobrepostos, de forma a quantificar os impactos de mudanças climáticas sobre as áreas de adequabilidade climática das espécies na FOM.

### **3.4.3 Traços funcionais x impacto de mudanças climáticas**

Para verificar se os traços funcionais das espécies influenciam as respostas das mesmas diante dos diferentes cenários de mudanças climáticas, foi utilizada a técnica de Árvore de Regressão. O percentual de mudanças das áreas de adequabilidade climática das espécies foi utilizado como variável dependente e os traços funcionais foram considerados como variáveis independentes. Como critério de “poda”, foi definido que os ramos terminais teriam que ter, no mínimo, quatro observações (espécies). A qualidade para interpretação da árvore de regressão foi avaliada por meio do erro relativo, por análise de resíduos e teste *t*.

Todas as análises foram realizadas utilizando a linguagem de programação estatística R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017), junto com os pacotes *rgbif* (CHAMBERLAIN et al., 2017), *maptools* (BIVAND et al., 2017a), *splancs* (BIVAND et al., 2017b), *SDMTTools* (VANDERWAL et al., 2014), *ade4* (DRAY et al., 2017), *USDM* (NAIMI, 2015), *dismo* (HIJMANS et al., 2015), *raster* (HIJMANS, 2015) e *biomod2* (THUILLER et al., 2014).





#### 4 RESULTADOS

As espécies que apresentaram os maiores valores para os traços funcionais avaliados foram *Campomanesia xanthocarpa* (DM = 0,68 g.cm<sup>-3</sup>), *Cedrela fissilis* (AF = 1200,49 cm<sup>2</sup>), *Casearia decandra* (AFE = 234,85 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>), *Araucaria angustifolia* e *Cedrela fissilis* (ambas com h = 30 m) para a densidade da madeira, área foliar, área foliar específica e altura máxima potencial, respectivamente (Tabela 2). As espécies que apresentaram os menores valores foram *Vernonanthura discolor* (DM = 0,33 g.cm<sup>-3</sup>), *Araucaria angustifolia* (AF = 1,71 cm<sup>2</sup>; AFE = 91,09 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>), *Allophylus edulis* e *Casearia decandra* (ambos com h = 10 m). Para os traços categóricos, a maior parte das espécies apresentou folhas perenifólias, dispersão zoocórica, fruto carnoso indeiscente, sementes não dormentes e, no caso da tolerância à dessecação, sementes ortodoxas e recalcitrantes obtiveram o mesmo número de espécies.

Tabela 3- Traços funcionais das 16 espécies arbóreas típicas da Floresta Ombrófila Mista, ordenadas em ordem alfabética, e redução das áreas de ocorrência potencial (RA, em %) dessas espécies com base nas mudanças climáticas para o ano 2070, conforme um cenário otimista (RA<sub>O</sub>, RCP 2.6) e mais pessimista (RA<sub>P</sub>, RCP 8.5) de mudanças climáticas previsto pelo IPCC.

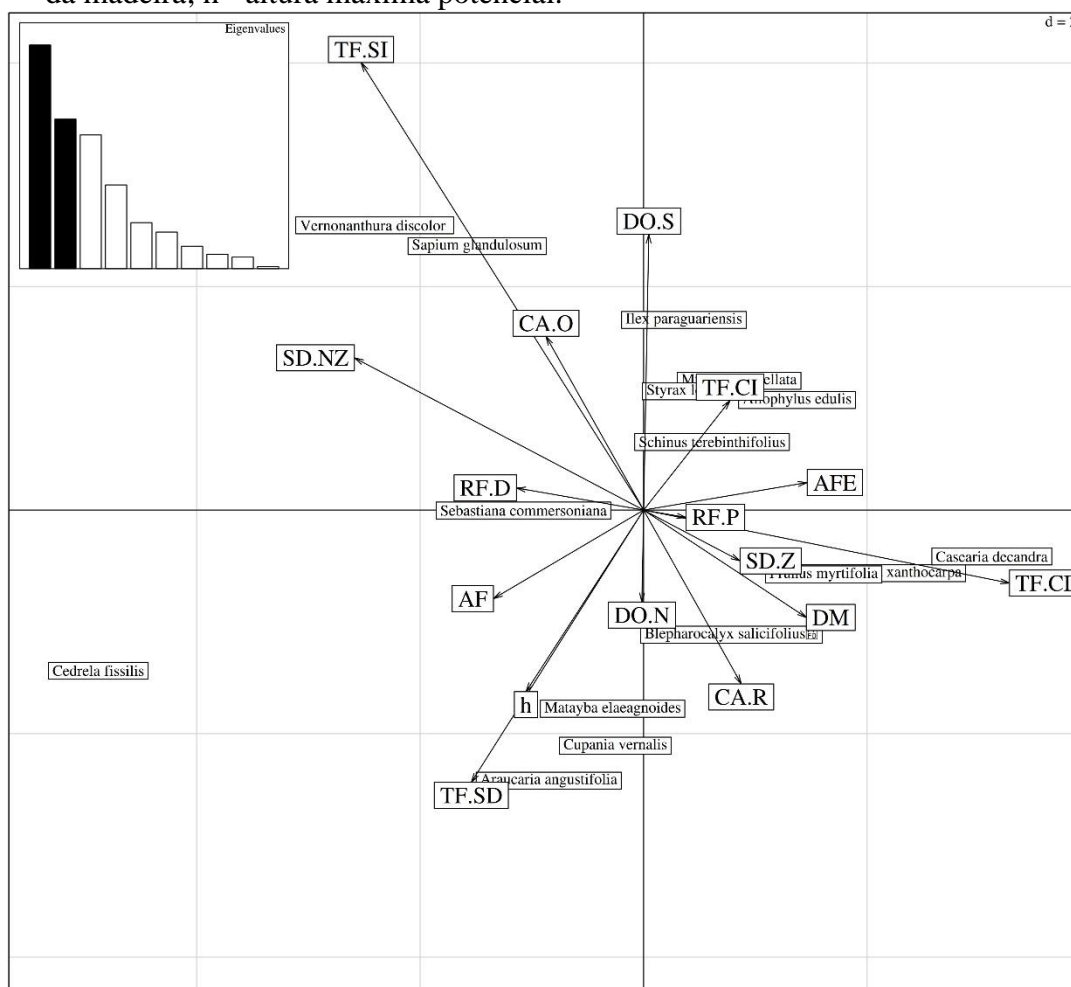
Espécies	Traços funcionais*									RA <sub>O</sub>	RA <sub>P</sub>
	DM	AF	AFE	h	RF	SD	TF	DO	CA		
<i>A. Edulis</i>	0,56	21,36	182,30	10	P	Z	CI	N	O	1,9	-2,5
<i>A. angustifolia</i>	0,52	1,71	91,09	30	P	Z	SD	N	R	-7,4	-58,5
<i>B. salicifolius</i>	0,57	10,22	143,68	25	P	Z	CI	N	R	-5,2	-30,4
<i>C. xanthocarpa</i>	0,68	24,91	182,28	15	P	Z	CI	N	R	-3,5	-33,9
<i>C. decandra</i>	0,66	7,74	234,85	10	D	Z	CD	N	R	-1,7	-6,6
<i>C. fissilis</i>	0,34	1200,49	98,28	30	D	NZ	SD	N	O	0,0	-0,9
<i>C. vernalis</i>	0,62	320,04	108,13	20	P	Z	SD	N	R	-0,2	-15,9
<i>I. paraguariensis</i>	0,45	34,00	146,28	15	P	Z	CI	S	O	-15,2	-38,2
<i>M. elaeagnoides</i>	0,54	154,72	113,04	20	P	Z	SD	N	R	-11,6	-43,9
<i>M. umbellata</i>	0,65	74,99	129,54	15	P	Z	CI	S	O	-10,7	-44,0
<i>P. myrtifolia</i>	0,64	11,61	157,23	16	P	Z	CI	N	R	-5,5	-24,9
<i>S. glandulosum</i>	0,38	20,69	130,86	16	D	NZ	SI	S	O	-20,5	-44,9
<i>S. terebinthifolius</i>	0,52	57,17	151,12	15	P	Z	CI	N	O	-6,3	-18,4
<i>S. commersoniana</i>	0,63	9,68	141,94	15	D	NZ	SD	N	O	0,0	-4,2
<i>S. leprosus</i>	0,42	11,45	103,54	12	P	Z	CI	S	R	-4,6	-23,1
<i>V. discolor</i>	0,33	50,61	97,04	12	P	NZ	SI	N	O	-30,8	-71,9

\*Para os traços funcionais que representam variáveis quantitativas contínuas, os valores apresentados referem-se à média para a espécie. DM= densidade básica da madeira (g.cm<sup>-3</sup>); AF= área foliar (cm<sup>2</sup>); AFE= área foliar específica (cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>); h= altura máxima potencial (m); RF= regime de renovação foliar, onde P= perenifólia, D= decídua; SD= síndrome de dispersão, onde Z= zoocórica, NZ= não zoocórica; TF= tipo do fruto, onde CI= carnoso indeiscente, CD= carnoso deiscente, SI= seco indeiscente, SD= seco deiscente; DO= dormência da semente, onde N= sementes sem dormência, S= sementes com dormência; CA= tolerância à dessecação, onde O= ortodoxas, R= recalcitrantes.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Na ordenação das espécies de acordo com seus traços funcionais (Figura 2), os dois primeiros eixos da PCA explicaram 51,6% da variação total dos dados (Eixo 1 = 30,9%; Eixo 2 = 20,7%). As variáveis que apresentaram maior correlação com o Eixo 1 foram aquelas relacionadas com os traços funcionais reprodutivos (TF.CD = frutos carnosos deiscentes, 0,92; SD.NZ = síndrome de dispersão não-zoocórica, -0,72; TF.SI = frutos secos indeiscentes, -0,71; TF.SD = frutos secos deiscentes, -0,43), a área foliar específica (AFE, 0,41) e a densidade da madeira (DM = 0,41). Na direita da ordenação ocorreram as espécies com frutos carnosos deiscentes, com folhas membranáceas e elevada densidade da madeira. Na esquerda da ordenação ocorreram, predominantemente, as espécies com frutos secos, não-zoocóricas, de folhas mais coriáceas e de menor densidade da madeira.

Figura 2- Ordenação produzida por Análise de Componentes Principais (PCA) a partir dos traços funcionais das espécies arbóreas estudadas da Floresta Ombrófila Mista. DO.S = sementes dormentes; DO.N = sementes não dormentes; TF.SI = tipo do fruto seco indeiscente; TF.SD= tipo do fruto seco deiscente; TF.CI= tipo do fruto carnos indeiscente; TF.CD= tipo do fruto carnos deiscente; SD.NZ= síndrome de dispersão não-zoocórico; SD.Z= síndrome de dispersão zoocórico; RF.D= regime de renovação foliar decíduo; RF.P= regime de renovação foliar perenifólio; CA.R= tolerância a dessecação do tipo sementes recalcitrantes; CA.O= tolerância a dessecação do tipo sementes ortodoxas; AFE= área foliar específica; AF= área foliar; DM= densidade da madeira; h= altura máxima potencial.

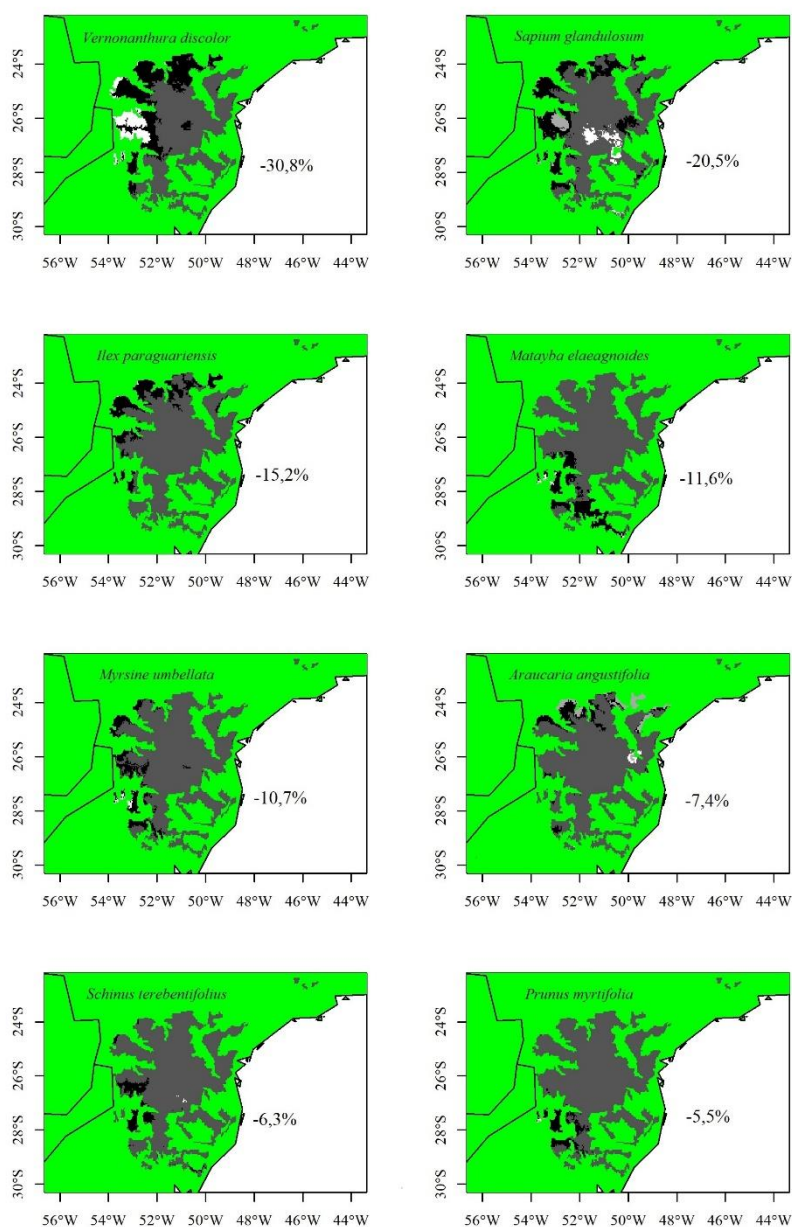


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

No Eixo 2, os traços funcionais reprodutivos também se destacaram (TF.SI = frutos secos indeiscentes, 1,12; DO.S = sementes dormentes, 0,69; TF.SD = frutos secos deiscentes, -0,68; CA.O = sementes ortodoxas, 0,44; CA.R = sementes recalcitrantes, -0,43), assim como a altura máxima potencial (h = -0,45). Na parte superior da ordenação, predominam as espécies de menor porte, com frutos secos indeiscentes e sementes dormentes e ortodoxas. Na parte inferior se destacaram as espécies de maior porte, com frutos secos deiscentes (ou estróbilo) e com sementes recalcitrantes.

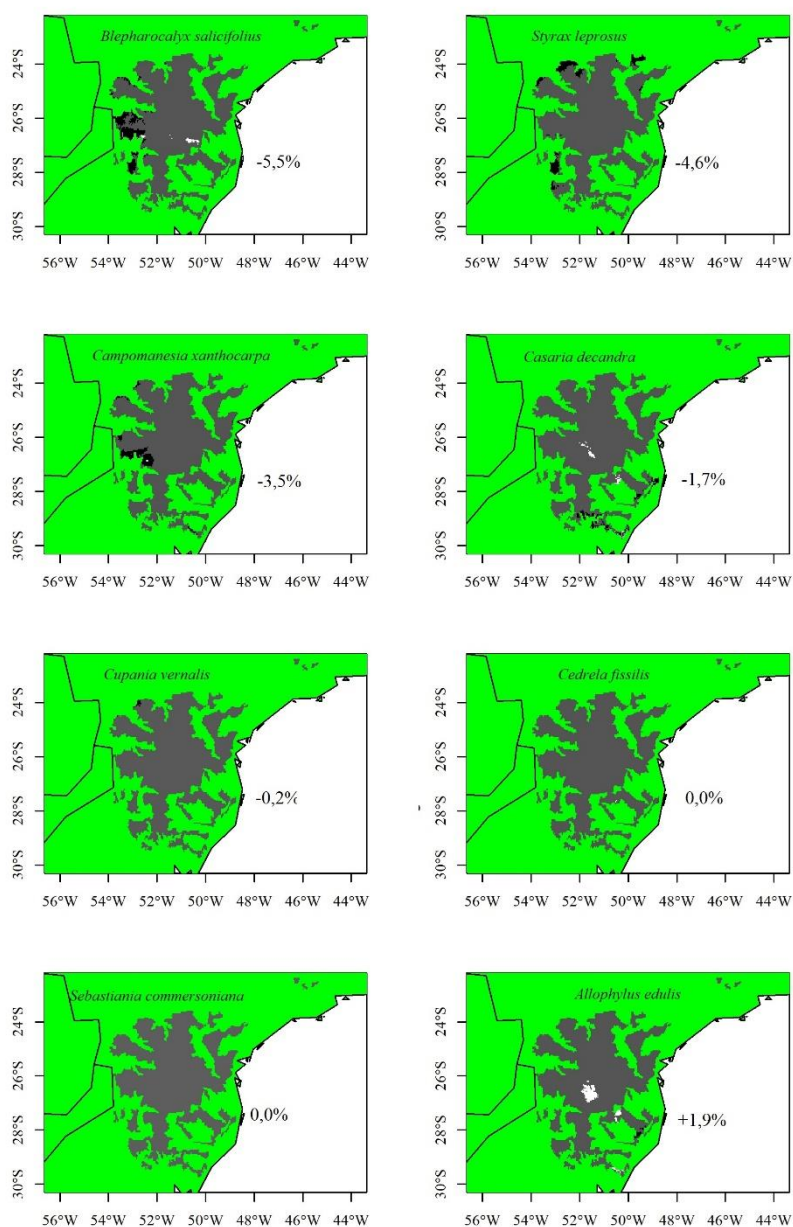
No cenário otimista de mudanças climáticas (RCP 2.6), para o ano de 2070, os resultados indicaram que a maior parte das espécies tenderão a apresentar uma redução de suas respectivas áreas de adequabilidade climática em área de Floresta Ombrófila Mista, com destaque para *Vernonanthura discolor* (-30,8%), *Sapium glandulosum* (-20,5%) e *Ilex paraguariensis* (-15,2%). Em contrapartida, duas espécies não apresentaram alteração da área de adequabilidade climática (*Sebastiania commersoniana* e *Cedrela fissilis*) e *Allophylus edulis* apresentou um pequeno aumento de sua área de adequabilidade climática (+1,9%) (Tabela 2, Figura 3, Figura 4).

Figura 3- Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies mais instáveis, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário otimista de mudança climática (RCP 2.6). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 4- Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies com maior estabilidade, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário otimista de mudança climática (RCP 2.6). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.

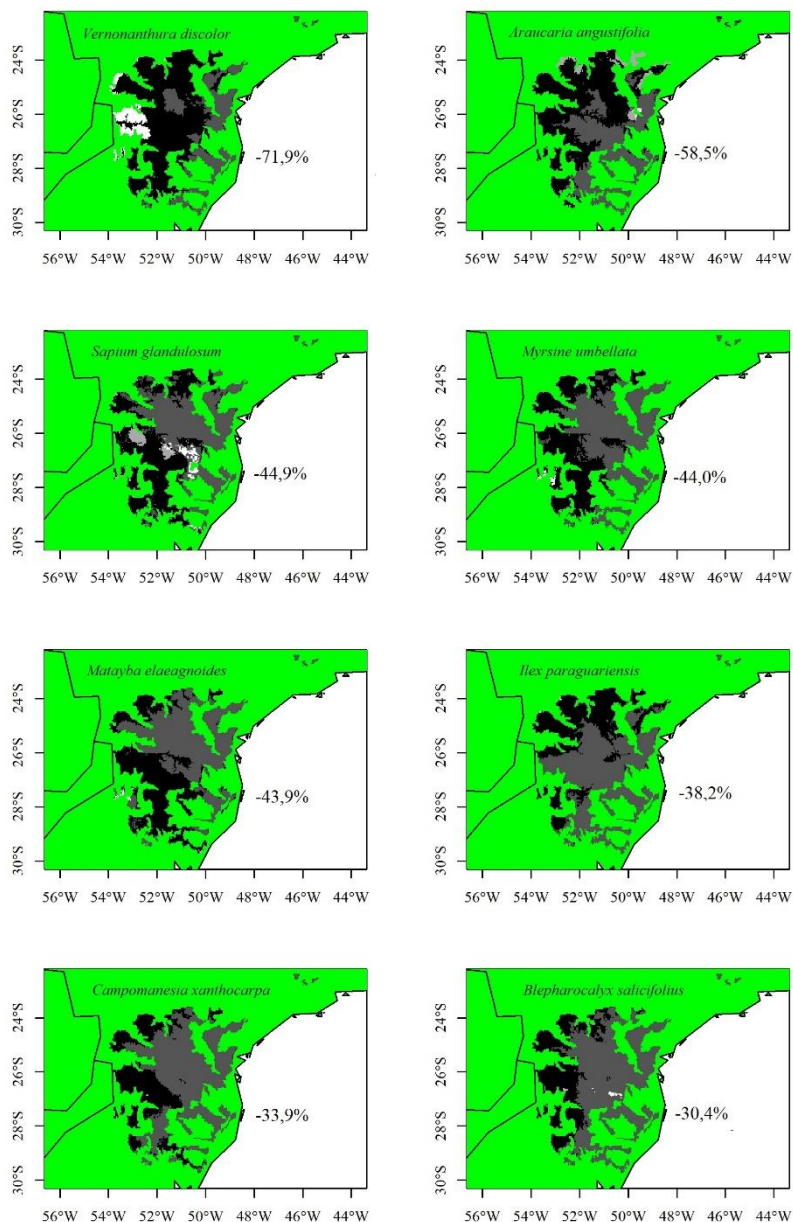


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Considerando o cenário mais pessimista de mudanças climáticas no ano 2070 (RCP 8.5), para a área de domínio da Floresta Ombrófila Mista, observa-se que todas as espécies avaliadas apresentaram previsão de redução de suas respectivas áreas de adequabilidade climática (Tabela 2, Figura 5, Figura 6). Porém, houve variações entre as mesmas, sendo que as espécies mais impactadas foram *Vernonanthura discolor* (-71,9%), *Araucaria angustifolia* (-58,5%) e *Sapium glandulosum* (-44,9%). As espécies menos sensíveis às mudanças climáticas foram: *Cedrela fissilis* (-0,9%), *Allophylus edulis* (-2,5%) e *Sebastiania commersoniana* (-4,2%) (Tabela 2). Observa-se que, de forma geral, as reduções das áreas de adequabilidade climática concentraram-se nos locais de menor altitude (Figuras 5 e 6).



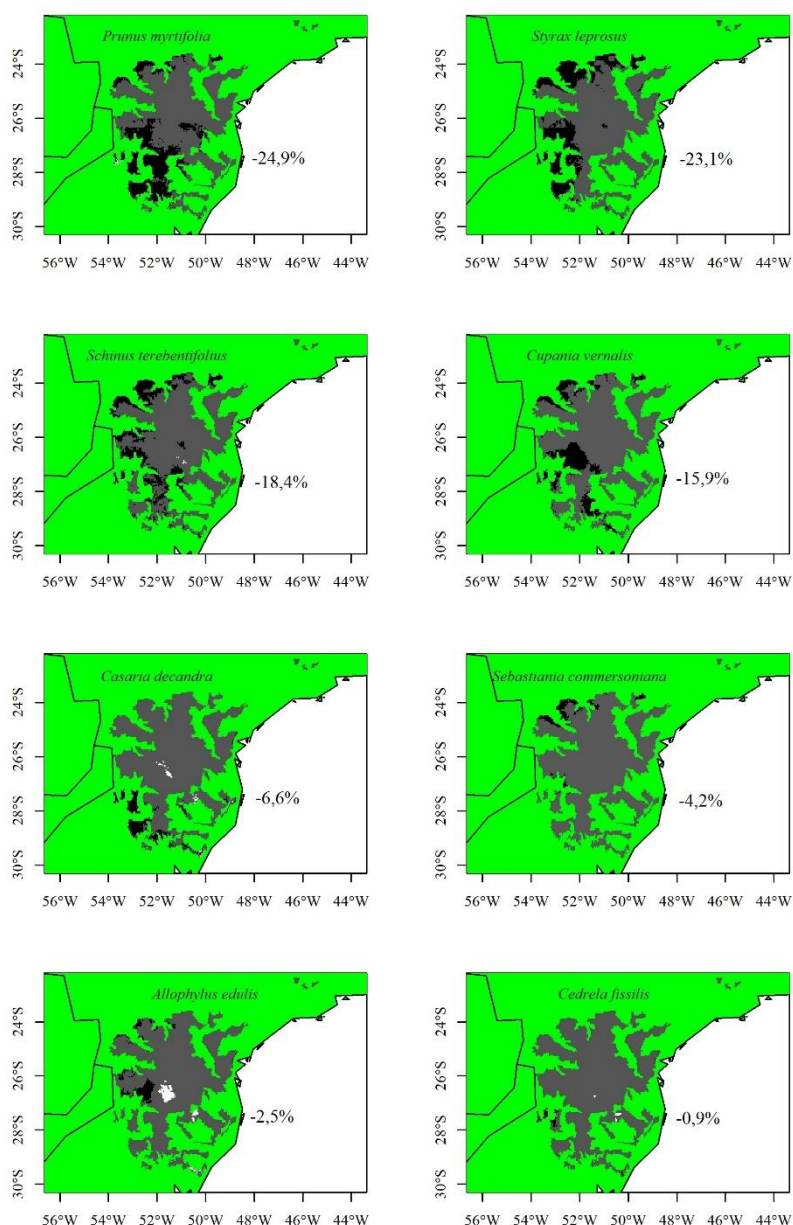
Figura 5- Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies mais instáveis, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário pessimista de mudança climática (RCP 8.5). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.



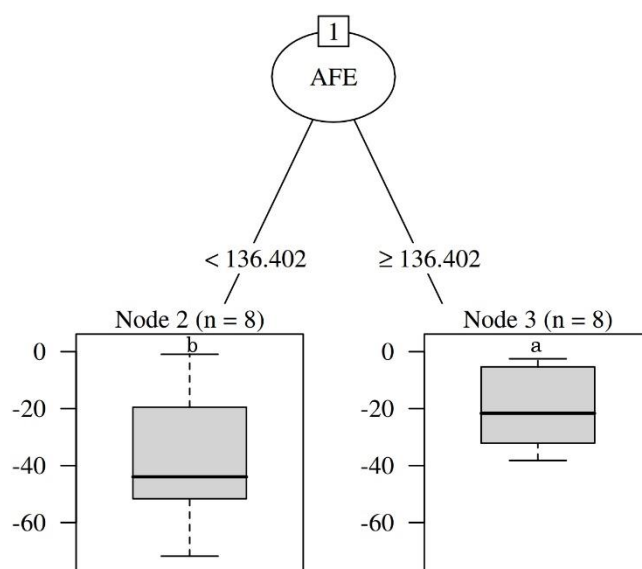
Figura 6- Indicação dos padrões de mudanças da área de ocorrência potencial para toda área de domínio da Floresta Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, para as oito espécies mais estáveis, entre as mais representativas da FOM, considerando o cenário pessimista de mudanças climáticas (RCP 8.5). Cinza escuro são áreas estáveis, que apresentam o clima favorável e continuarão apresentando no futuro; cinza claro são áreas estáveis, que não apresentam o clima favorável e continuarão não apresentando no futuro; preto são áreas instáveis, que deixarão de apresentar condições favoráveis para a ocorrência da espécie; branco são áreas instáveis, que passarão a apresentar condições climáticas favoráveis.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Para o cenário mais otimista, nenhum traço funcional foi preditivo das mudanças das áreas de adequabilidade climática para as espécies avaliadas. Já para o cenário pessimista, o traço funcional com maior capacidade preditiva das respostas das espécies quanto ao impacto das mudanças climáticas, expressas pela redução da área de adequabilidade climática, foi a Área Foliar Específica (AFE) (Figura 7). Espécies com AFE menor do que  $136,4 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$ , ou seja, as que apresentaram folhas mais coriáceas (i.e., *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Cupania vernalis*, *Matayba elaeagnoides*, *Myrsine umbellata*, *Sapium glandulosum*, *Styrax leprosus* e *Vernonanthura discolor*), foram as que apresentaram maior redução da área de adequabilidade climática (em média -37,86%). Já as espécies com AFE maior ou igual a  $136,4 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$ , com folhas mais membranáceas (i.e., *Allopylus edullis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Casearia decandra*, *Ilex paraguariensis*, *Prunus myrtifolia*, *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*), foram as menos impactadas pelas mudanças climáticas (em média -19,88%). Essas diferenças entre as porcentagens médias do impacto das mudanças climáticas, entre espécies de folhas coriáceas e membranáceas, foram significativas a 10% de probabilidade ( $p = 0,08645$ ) (Figura 7).

Figura 7- Árvore de regressão (Erro Relativo = 0,80) para a resposta das espécies quanto aos impactos de mudanças climáticas, conforme o cenário mais pessimista (RCP 8.5), do IPCC, para o ano de 2070, expressa pela redução da área de adequabilidade climática na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, em função dos seus respectivos traços funcionais. AFE = área foliar específica.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.



## 5 DISCUSSÃO

Em síntese, os resultados demonstraram que as espécies mais frequentes da Floresta Ombrófila Mista apresentam elevada variação de seus traços funcionais e também das suas respostas aos cenários otimista e pessimista de mudança climática previsto pelo IPCC. Em ambos os cenários de mudanças climáticas, observou-se impactos negativos relacionados a redução da área de adequabilidade climática das espécies estudadas, porém, no cenário mais drástico de mudanças climáticas (RCP 8.5), espécies com menor área foliar específica (i.e., folhas mais coriáceas), mais adaptadas a locais com baixas temperaturas, serão relativamente mais impactadas do que as espécies com maior área foliar específica (i.e., folhas mais membranáceas), que supostamente são mais adaptadas a uma maior “tropicalidade”. Isto significa que, para a Floresta Ombrófila Mista, a dureza das folhas pode ser utilizada como um bom indicativo da sensibilidade das espécies aos impactos de mudanças climáticas. Assim, os resultados encontrados confirmam parcialmente as hipóteses testadas.

Ao se avaliar os traços funcionais das espécies mais frequentes da FOM, observa-se que as variações ocorreram, principalmente, em função das características reprodutivas, da área foliar específica, da densidade da madeira e da altura máxima potencial. O Eixo 1 da ordenação, que foi o mais explicativo, indicou variações das estratégias das espécies em colonizar áreas em diferentes estágios sucessionais. Enquanto na esquerda do gráfico encontram-se, predominantemente, as espécies pioneiras colonizadoras de áreas recém-perturbadas (não-zoocóricas, frutos secos, folhas mais coriáceas e menor densidade da madeira), como, por exemplo, *Vernonanthura discolor*, *Sapium glandulosum* e *Cedrela fissilis*, na direita estão espécies climáticas tolerantes a ambientes sombreados (com frutos carnosos, folhas mais membranáceas e maior densidade da madeira), tais como *Campomanesia xanthocarpa*, *Casearia decandra* e *Prunus myrtifolia*.

Conforme observado por Howe e Miriti (2004), a variação de frutos, com diferentes tamanhos, formas, cores e aromas, evidencia a relevância do processo de dispersão para a ecologia das espécies. Segundo Howe e Smallwood (1982), a morfologia dos frutos está diretamente relacionada com o seu tipo de dispersão. Enquanto frutos adaptados para serem dispersos por animais são normalmente carnosos (HOWE, 2016), espécies com frutos secos usualmente apresentam dispersão do tipo anemocórica ou autocórica (VAN DER PIJL, 1972). A elevada capacidade de dispersão faz das espécies de sementes pequenas e dispersas pelo vento eficientes colonizadoras de áreas abertas e perturbadas, quando comparadas com espécies de sementes maiores e dispersas por animais, não generalistas por habitats (HOWE, 2016). De fato, Magnano et al. (2014), estudando fragmentos florestais do domínio atlântico, observaram

que a proximidade da borda de fragmentos florestais, que é um tipo de ambiente associado a maior perturbação e disponibilidade de luz, favoreceu a presença de espécies arbóreas não-zoocóricas.

O Eixo 2 sintetizou, principalmente, a capacidade das espécies de formarem um banco de sementes, o que representa uma estratégia de persistência durante períodos desfavoráveis (KOORNEEF et al., 2002; DE CASAS et al., 2017). Na parte superior da ordenação encontram-se as espécies de menor porte, capazes de persistirem no banco de sementes (frutos secos indeiscentes e sementes ortodoxas dormentes); e na parte inferior encontram-se as espécies de maior porte, que não formam banco de sementes (frutos secos deiscentes e sementes recalcitrantes).

A dormência é uma característica das sementes que está, diretamente, relacionada às condições ambientais em que a semente é capaz de germinar (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006), assim, as espécies que apresentam algum tipo de dormência irão germinar apenas quando encontrarem condições favoráveis. Segundo Kramer e Kozlowski (1972), no geral, cerca de um terço das sementes das espécies germinam imediatamente quando encontram condições adequadas, porém, o restante exibe um certo grau de dormência. Neste sentido, este mecanismo adaptativo pode ser considerado de grande importância para a sobrevivência das plantas (DONOHUE et al., 2005; HUANG et al., 2010) e bastante encontrado em espécies pioneiras (SMITH et al., 2003; HONG; ELLIS, 2003; BERJAK; PAMMETER, 2003; NAPPO et al., 2001). As espécies com sementes ortodoxas, por sua vez, apresentam baixo teor de água, reduzindo, assim, seu metabolismo e fazendo com que a germinação das espécies deste grupo seja mais demorada (COSTA, 2009). Infere-se então que, as espécies que apresentam dormência e sementes ortodoxas, apresentarão maior longevidade de suas sementes e, assim, serão capazes de persistirem no banco de sementes durante um período desfavorável, por exemplo.

As espécies que apresentaram sementes dormentes e ortodoxas apresentaram, também, um porte mais reduzido, o que é normalmente observado para espécies pioneiras, já que não necessitam tanto de crescimento em altura, pois habitam locais com bastante incidência solar. Por outro lado, espécies de maior porte, com frutos secos deiscentes e com sementes recalcitrantes, são frequentemente observadas no grupo das climácicas (SMITH et al., 2003; HONG; ELLIS, 2003; BERJAK; PAMMETER, 2003; NAPPO et al., 2001). As espécies desse último grupo não formam um banco de sementes, já que sementes recalcitrantes apresentam uma grande quantidade de água, o que favorece e acelera o seu metabolismo, amadurecendo as sementes com maior velocidade (ROBERTS, 1973). Assim, espécies com este traço funcional

não toleram a dessecação, o que pode ser visto de forma negativa, quando se considera a possibilidade de armazenamento das sementes destas espécies.

Toda a heterogeneidade funcional observada reflete as diferentes estratégias de vida das espécies para ocupar os distintos nichos ecológicos disponíveis. Isto ocorre, pois, conforme Violle et al. (2007), os valores dos traços funcionais de uma espécie estão relacionados com a performance de seus indivíduos, expressa pela capacidade de crescimento, sobrevivência e reprodução, em um determinado tipo de hábitat. De fato, estudos na região do Planalto Catarinense têm demonstrado variações funcionais em escala regional (SOBOLESKI et al., 2017a) e local (MISSIO et al., 2016; SOUZA et al., 2017; SOBOLESKI et al. 2017b). Enquanto nas áreas de maior altitude, correspondente aos pontos mais frios, ocorrem espécies de menor porte, com folhas coriáceas de menor tamanho e com maior densidade da madeira, nas áreas de menor altitude e mais quentes ocorrem espécies de maior porte, folhas membranáceas de maior tamanho e com menor densidade da madeira (SOBOLESKI et al. 2017a). Em escala local, tem sido observado que espécies em ambientes com maior disponibilidade de recursos (luz e nutrientes) tendem a apresentar maior porte e menor densidade da madeira (MISSIO et al., 2016; SOUZA et al., 2017; SOBOLESKI et al. 2017b).

Atualmente, há evidências de que as mudanças climáticas são uma das maiores ameaças à diversidade de espécies (ARAÚJO et al., 2006; SALAZAR et al., 2007; LOYOLA et al., 2008; OLIVEIRA; CASSEMIRO, 2013). De fato, os resultados encontrados neste trabalho corroboram com esta ideia, já que, para ambos os cenários avaliados, é possível identificar a redução da área de ocorrência potencial para a maioria das espécies da Floresta Ombrófila Mista estudadas. Esse resultado está de acordo com o esperado, já que a FOM possui espécies mais adaptadas a um clima mais frio, que possivelmente serão substituídas por um conjunto de espécies com características mais tropicais.

*A. angustifolia*, que é a espécie mais representativa da fitofisionomia, apresentou a segunda maior projeção de perda de área, considerando o cenário pessimista de mudanças climáticas. Infere-se que, com a redução das áreas de adequabilidade climática desta espécie, haverá também consequências para a fauna, já que a mesma desempenha um papel crucial na alimentação de animais (VIEIRA et al., 2004), uma vez que produz uma grande quantidade de sementes no inverno, que é justamente quando a produção de frutas de espécies arbóreas encontra-se baixa (PAISE; VIEIRA 2005). Neste sentido, aqueles animais que usam a semente de *A. angustifolia* como alimento também serão fortemente impactados, podendo, inclusive, haver extinções locais. Ressalta-se que a maior parte das espécies estudadas também apresentam dispersão zoocórica, o que enfatiza ainda mais o impacto sobre a fauna.

Apesar da redução de área climaticamente favorável para a maior parte das espécies estudadas, verifica-se que as amplitudes das mudanças foram distintas para cada uma delas. Isto é, as projeções sugerem o impacto das mudanças climáticas não será o mesmo para todas as espécies. Esta idiossincrasia é esperada, considerando as especificidades dos nichos climáticos das espécies, que supostamente se expressam por meio de seus respectivos traços funcionais.

O fato de a área foliar específica ser o traço funcional que melhor explicou o impacto sofrido pelas espécies quanto às mudanças climáticas corrobora com a ideia de “espectro de economia foliar”, que demonstra que, em escala global, a dureza das folhas é uma das características mais associada com as variações do clima (WRIGHT et al., 2004; OSNAS et al., 2013). Locais mais frios (WRIGHT et al. 2004) e secos (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013) tendem a apresentar espécies com folhas mais duras, pois estas são, supostamente, melhores adaptadas a condições mais extremas de frio e, ou, ao déficit hídrico. Soboleski et al. (2017a), ao estudarem FOM em escala regional, também observaram a predominância de espécies de folhas mais duras em áreas mais altas e frias. Estes resultados expressam a relevância da dureza das folhas como uma característica adaptativa em diferentes condições ambientais, o que pode ser explicado por sua influência sobre a capacidade de fotossíntese líquida de plantas (REICH et al., 1998), a absorção de carbono e, consequentemente, o crescimento relativo (SHIPLEY, 2002). Conforme observado por Reich et al. (1998), as espécies com folhas mais membranáceas apresentam maior capacidade de fotossíntese líquida do que aquelas de espécies mais coriáceas.

A expectativa de que a densidade da madeira fosse preditiva do impacto das mudanças climáticas, considerando a relação da mesma com o clima (CHAVE et al., 2009), não se confirmou. Este resultado indica que, para espécies avaliadas e para as mudanças climáticas previstas para a região, este atributo funcional tenha pouco poder preditivo. Da mesma forma, destaca-se que, apesar das características reprodutivas serem de grande relevância na distinção funcional das espécies, as mesmas não apresentaram relação significativa com o impacto de mudanças climáticas. Isto pode ser explicado pelo fato de que, como discutido anteriormente, os traços funcionais reprodutivos analisados estarem relacionados com as estratégias de colonização de áreas pós-distúrbios. Ou seja, tanto a densidade da madeira, quanto os atributos reprodutivos, podem não estar diretamente relacionados com os resultados das previsões futuras do clima, que indicam, para o Sul do Brasil, uma maior “tropicalidade” (i.e., maiores temperaturas e precipitação) (SALAZAR et al., 2007). Assim, o presente resultado sugere que a relação entre os atributos funcionais de espécies arbóreas e os potenciais impactos de mudanças climáticas é de elevada complexidade, sendo um aspecto fortemente dependente do conjunto de espécie avaliado e, também, do tipo de mudanças climáticas previstas.



Porém, ressalta-se que a ausência de evidências não indica que as características reprodutivas não serão relevantes em um cenário de mudanças climáticas. Por exemplo, os modelos climáticos utilizados tradicionalmente na modelagem de nichos climáticos não contemplam a frequência de ocorrência de eventos climáticos extremos (e.g., secas severas e furacões). Neste sentido, fica o questionamento se a ocorrência de eventos desta natureza não poderia favorecer a presença das espécies colonizadoras de áreas recém perturbadas e com a capacidade de persistirem por meio da dormência de sementes durante um período de clima desfavorável.



## 6 CONCLUSÕES

Conclui-se que, no grupo das 16 espécies arbóreas mais representativas da FOM, houve elevada heterogeneidade nas características funcionais, assim como na porcentagem de redução de suas áreas de adequabilidade climática. O grupo de espécies mais sensíveis às mudanças climáticas incluiu aquelas de folhas mais coriáceas, mais adaptadas ao frio. Assim, infere-se que na região avaliada, com o aumento da tropicalidade (maior temperatura e umidade), espécies com folhas mais coriáceas (>AFE) poderão ser substituídas por espécies com folhas mais membranáceas. O fato de *Araucaria angustifolia*, que é a espécie mais característica da Floresta Ombrófila Mista, ser a segunda espécie mais sensível às mudanças climáticas no cenário mais pessimista, e inserida também no grupo funcional mais impactado com as mudanças climáticas (de folhas mais coriáceas, mais adaptada ao frio), sugere que esta importante fitofisionomia poderá ter redução de sua extensão geográfica com o passar dos anos.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou a importância dos traços funcionais na predição das mudanças climáticas para a Floresta Ombrófila Mista. Foi possível identificar que as espécies apresentam diferentes estratégias de vida, identificadas por seus respectivos traços funcionais, e que estes influenciam diretamente na performance das espécies sobre diferentes cenários climáticos.

A área foliar específica foi o traço que melhor explicou o impacto das mudanças climáticas, sendo que espécies de folhas mais coriáceas serão aquelas com maior redução de sua área de adequabilidade climática. Esta característica, apesar de conferir resistência ao frio para as espécies da FOM, com a elevação da temperatura poderá deixar de ser relevante, e espécies de folhas mais membranáceas, supostamente, terão maior sucesso. Dessa forma, haverá redução das áreas de FOM.

As áreas de maior altitude, onde as espécies mais sensíveis às mudanças climáticas continuarão a ocorrer, podem ser consideradas prioritárias para a conservação. Essas áreas podem ser apontadas como refúgios e, assim, são recomendadas a criação de Unidades de Conservação nessas regiões. Sugere-se, também, a criação de um Banco de Germoplasma para as espécies que apresentaram maior redução de sua área de adequabilidade climática, com o intuito de conservar a diversidade genética destas espécies.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941-02**: Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, London, v. 43, mar. 2006.

APAZA-QUEVEDO, A. et al. Elevation, topography and edge effects drive functional composition of woody plant species in Tropical Montane Forests. **Biotropica**, Washington, v. 47, jun. 2015.

ARAÚJO, M. B.; THUILLER, W.; PEARSON, R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 33, maio 2006.

BARALOTO, C. et al. Decoupled leaf and stem economics in rainforest trees. **Ecology Letters**, Oxford, v. 13, ago. 2010.

BARDDAL, M. L. **A Influência Da Saturação Hídrica Na Distribuição De Oito Espécies Arbóreas Da Floresta Ombrófila Mista Aluvial Do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BEAUMONT, L. J. et al. Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, USA, v. 108, fev. 2011.

BEGON, M.; WALL, R. Individual variation and competitor coexistence: a model. **Functional Ecology**, Oxford, v. 1, fev. 1987.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. Chapter 4: Orthodox and recalcitrant seeds. In: VOZZO, J.A. **Tropical tree seed manual**. Washington: USDA Forest Science, p. 137-147, 2003.

BERTOLDO, É. et al. Registro de Floresta Ombrófila Mista nas regiões sudoeste e sul do Estado do Paraná, Brasil, durante o Pleistoceno/Holoceno. **Hoehnea**, São Paulo, v. 41, n. 1, ago. 2014.

BIVAND, R. et al. **Maptools: Tools for Reading and Handling Spatial Objects**. R package version 0.9-2, 2017.

BIVAND, R. et al. **Splancs: Spatial and Space-Time Point Pattern Analysis**. R package version 2.01-40, 2017.

BORIA, R. A. et al. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 275, mar. 2014.

BROWN, C. J. et al. Ecological and methodological drivers of species' distribution and phenology responses to climate change. **Global change biology**, Oxford, v. 22, n. 4, dez. 2016.

BUDKE, J.C. et al. Composição florística e estratégias de dispersão de espécies lenhosas em uma floresta ribeirinha, arroio Passo das Tropas, Santa Maria, RS, Brasil. **Iheringia Série Botânica**, Porto Alegre, v. 60, jun. 2005.

BURNS, K. C. Patterns in the assembly of an island plant community. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 34, nov. 2007.

CALLAWAY, R. M.; PENNINGS, S. C.; RICHARDS, C. R. Phenotypic plasticity and interactions among plants. **Ecology**, Washington, v. 84, n. 5, maio 2003.

CARVALHO, F. A. et al. Estrutura da comunidade arbórea da floresta atlântica de baixada periodicamente inundada na Rebio de Poço das Antas, RJ. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 5, ago. 2006.

CARVALHO, L. R.; SILVA, E. A. A. S.; DAVIDE, A. C. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 2, abr. 2006.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2003. 1039 p.

CHAMBERLAIN S.; BARVE, V.; MCGLINN, D. **rgbif: Interface to the Global 'Biodiversity' Information Facility API**. R package version 0.9.9, 2017.

CHAPMAN, D. S. et al. Modelling the introduction and spread of non-native species: international trade and climate change drive ragweed invasion. **Global Change Biology**, Oxford, v. 22, n. 9, jan. 2016.



CHAVE, J. **Measuring wood density for tropical forest trees**. A field manual for the CTFs sites. 7p. 2005. Disponível em: <<http://chave.ups-tlse.fr/chave/wood-density-protocol.pdf>> Acesso em: 30 de nov. 2016.

CHAVE, J. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, Oxford, v.12, n. 4, p. 351-366, mar. 2009.

COHEN, D. Optimizing reproduction in a randomly varying environment. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 12, set. 1966.

COMINS, H. N.; HAMILTON, W. D; MAY, R. Evolutionarily stable dispersal strategies. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 82, fev. 1980.

COOK, K. H.; VIZY, E. K. Effects of twenty-first-century climate change on the Amazon rainforest. **Journal of Climate**, v. 21, jun. 2008.

CORNELISSEN, J. H. C. et al. A Handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 51, n. 4, set. 2003.

COSTA, C. J. Armazenamento e conservação de sementes de espécies do Cerrado. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, v. 1, jul. 2009.

COX, P. M. et al. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 78, jun. 2004.

DAVIS, M. B.; SHAW, R. G. Range Shifts and Adaptive Responses to Quaternary Climate Change. **Science**, Washington, v. 292, n. 27, abr. 2001.

DAWSON, T. P. et al. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. **Science**, Washington, v. 332, maio. 2011.

DE CASAS, R. R. et al. Global biogeography of seed dormancy is determined by seasonality and seed size: a case study in the legumes. **New Phytologist**, Cambridge, v. 214, n. 4, jun. 2017.

DIAS, E. **Atributos funcionais predizem sobrevivência e regeneração arbórea em diferentes modelos de restauração na floresta estacional semidecidual**. 2014. Dissertação (Mestrado em agroecossistemas) - Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

DIAZ, S. et al. Plant functional traits, ecosystem structure and land-use history along a climatic gradient in central-western Argentina. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, n.10, v. 5, fev. 1999.

DÍAZ, S. et al. The plant traits that drive ecosystems: evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 15, fev. 2004.

DIAZ, S.; CABIDO, M. Plant Functional Types and Ecosystem Function in Relation to Global Change. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 8, n. 4, fev. 1997.

DIAZ, S.; CABIDO, M.; CASANOVES, F. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 9, n.1, fev. 1998.

DIAZ, S.; CABIDO, M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v.16, out. 2001.

DILLON, M. F.; WANG, G.; HUEY, R. B. Global metabolic impacts of recent climate warming. **Nature**, London, v. 467, out. 2010.

DONOHUE, K. Seeds and seasons: interpreting germination timing in the field. **Seed Science Research**, Wallingford, v.15, fev. 2005.

DRAY, S. et al. **Ade4: Analysis of Ecological Data: Exploratory and Euclidean Methods in Environmental Sciences**. R package version 1.7-8, 2017.

ELIOT, C. Method and metaphysics in Clements's and Gleason's ecological explanations. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, Oxford, v. 38, mar. 2007.

FERREIRA, P. I. et al. Espécies Potenciais para recuperação de áreas de preservação permanente no planalto catarinense. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, jun. 2013.

FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, Cambridge, v. 171, fev. 2006.

FLORIANO, E. P. Germinação e dormência de sementes florestais. **ANORGS**, Santa Rosa, p. 19, maio. 2004.

FONTAINE, C.; DAJOZ, I.; MERIGUET, J. Functional diversity of plantpollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. **Plos Biololy**, San Francisco, v. 4, dez. 2006.

FYLLAS, N, M. et al. Basin-wide variations in foliar properties of Amazonian forest: phylogeny, soils and climate. **Biogeosciences**, Hoboken, v. 6, nov. 2009.

GALVÃO, F.; AUGUSTIN, C. A gênese dos campos sulinos. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, jan. 2011.

GAMFELDT, L.; KALLSTROM, B. Increasing intraspecific diversity increases predictability in population survival in the face of perturbations. **Oikos**, Buenos Aires, v. 116, abr. 2007.

GBIF. GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY, 2017. Disponível em: <<https://www.gbif.org/>>. Acesso em: 20 out. 2017.

GIEHL, E. L. H. et al. Espectro e distribuição vertical das estratégias de dispersão de diásporos do componente arbóreo em uma floresta estacional no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 21, mar. 2007.

GILMAN, S. F. et al. A framework for community interactions under climate Change. **Trends Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 25, jun. 2010.

GILSA, E. A. V.; HOMCZINSKI, I.; KRUPPEK, R. A. Levantamento florístico e fitossociológico em uma área do Morro Bela Vista, no município de Porto União – SC. **Ambiência**, Guarapuava, v. 10 n. 2, ago. 2014.

GIVNISH, T. J. Comparative studies of leaf form: assessing the relative roles of selective pressures and phylogenetic constraints. **New phytologist**, Cambridge, v. 106, n. 1, jun. 1987.

GOGOSZ, A. M. **Morfologia funcional de plântulas como indicador fisionômico da dinâmica de regeneração de espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista, Paraná**. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

GRAHAM, M. H. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. **Ecology**, Washington, v.84, n.11, nov. 2003.

GREEN, W. **USDA PLANTS Compilation**, version 1, 09-02-02, (<http://bricol.net/downloads/data/PLANTSdatabase/>) NRCS: The PLANTS Database

(<http://plants.usda.gov>, 1 Feb 2009), National Plant Data Center: Baton Rouge, LA 70874-74490 USA, 2009.

GRZYBOWSKI, C. R. **Tecnologia de sementes de *Vernonanthura discolor* (Spreng.) H.Rob. E *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.** 2016. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

GUITAY, H.; NOBLE, I. R. What are functional types and how can we seek them? In: SMITH, T.M.; SHUGART, H.H.; WOODWARD, F. I. (eds.), **Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

HALISKI, S. et al. Caracterização morfológica de frutos, sementes, plântulas e germinação de sementes de *Casearia decandra*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, set. 2013.

HERRERO A., ZAMORA R. Plant responses to extreme climatic events: a field test of resilience capacity at the southern range edge. **PLoS One**, San Francisco, v. 9, jan. 2014.

HIGUCHI, P. et al. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana no município de Paineira, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, jun. 2013.

HIJMANS, R. J. et al. **dismo: Species Distribution Modeling**. R package version 1.0-12, 2015.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 25, maio 2005.

HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling**. R package version 2.3-40, 2015.

HILL, M. O.; SMITH, A. J. E. Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. **Taxon**, Utrecht, v. 25, maio 1976.

HONG, T. D.; ELLIS, R. H. Storage. In: **Tropical tree seed manual**. [s.l]: USDA Forest Service's, Reforestation, Nurseries & Genetics Resources, p. 125-136, 2003.

HOWE, H. F. Making dispersal syndromes and networks useful in tropical conservation and restoration. **Global ecology and conservation**, [S.l], v. 6, abr. 2016.

HOWE, H. F.; MIRITI, M. N. When seed dispersal matters. **BioScience**, Washington, v. 54, n. 7, jul. 2004.

HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. **Annual Review Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 13, nov. 1982.

HUANG, X.; SCHMITT, J. et al. The earliest stages of adaptation in an experimental plant population: strong selection on QTLs for seed dormancy. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 19, mar. 2010.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2012. 323p.

IPCC. **Climate change 2013: The physical science basis**. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, IPCC, 2013.

IPCC. **Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade à Mudança do Clima**. Sumário para os Formuladores de Políticas e Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 2007.

IVERSON, L. R.; PRASAD, A. M. Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the eastern United States. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 68, n. 4, nov. 1998.

JARENKOW, J. A.; BUDKE, J. C. Padrões florísticos e análise estrutural de remanescentes florestais com *Araucaria angustifolia* no Brasil. In: FONSECA, C. S. D.; SOUZA, A. F.; ZANCHET, A. M. L.; DUTRA, T., BACKES, A., GANADE, G. M. S. (Org.). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, p. 113-126, 2009.

JOSÉ, A. C.; SILVA, E. A.; DAVIDE, A. C. Classificação fisiológica de sementes de cinco espécies arbóreas de mata ciliar quanto a tolerância à dessecação e ao armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 2, mar. 2007.

JUMP A. S; PEÑUELAS, J. Running to stand still: adaptation and the responses of plants to rapid climate change. **Ecology Letters**, Oxford, v. 8, nov. 2005.

KANIESKI, M. R. et al. Influência da Precipitação e da Temperatura no Incremento Diamétrico de Espécies Florestais Aluviais em Araucária-PR. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 1, ago. 2012.

KANIESKI, M. R.; LONGHI, S. J.; ARAUJO, A. C. B. Quantificação da biodiversidade em Floresta Ombrófila Mista por meio de diferentes Índices Alfa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, fev. 2010.

KATTGE, J. et al. TRY-a global database of plant traits. **Global change biology**, Oxford, v. 17, n. 9, abr. 2011.

KLEIN, R. M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí: UFSC, 1978. 24p.

KOORNNEEF, M.; BERTSINK, L.; HILHORSTB, H. Seed dormancy and germination. **Current opinion in Plant Biology**, [S.i.], v. 5, n. 1, fev. 2002.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

LEBRIJA-TREJOS, E. et al. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. **Ecology**, Washington, v. 91, n. 2, fev. 2010.

LOBO, J. M.; TOGNETTI, M. F. Exploring the effects of quantity and location of pseudo-absences and sampling biases on the performance of distribution models with limited point occurrence data. **Journal for Nature Conservation**, [S.i.], v. 19, n. 1, mar. 2011.

LONGHI, A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do sul**. Porto Alegre: L&PM, 1995. 174p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, v. 2, n. 2, 2002. 384p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, v. 1, n. 5, 2008. 384p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, v. 3, 2009. 384p.

LOYOLA, R. D. et al. Hung out to dry, choice of priority ecoregions for conserving threatened Neotropical anurans depends on life-history traits. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 3, mar. 2008.

MABRY, C., ACKERLY, D.; GERHARDT, F. Landscape and species-level distribution of morphological and life history traits in a temperate woodland flora. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 11, fev. 2000.

MADRITCH, M. D.; HUNTER, M. D. Intraspecific litter diversity and nitrogen deposition affect nutrient dynamics and soil respiration. **Oecologia**, Berlim, v. 136, n. 1, abr. 2003.

MAGNAGO, L. F. S. et al. Functional attributes change but functional richness is unchanged after fragmentation of Brazilian Atlantic forests. **Journal of ecology**, London, v. 102, n. 2, dez. 2014.

MALHADO, A. C. M. et al. Spatial trends in leaf size of Amazonian rainforest trees. **Biogeoscience**, [S.i.], v. 6, ago. 2009.

MANZONI, M. et al. Biological constraints on water transport in the soil–plant–atmosphere system. **Advances in Water Resources**, Southampton, v. 51, mar. 2013.

MARKS, P. L. The role of pin cherry (*Prunus pennsylvanica* L.) in the maintenance of stability in northern hardwood ecosystems. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 44, jan. 1974.

MARTINS, L.; LAGO, A. A. Conservação de semente de *Cedrela fissilis*: teor de água da semente e temperatura do ambiente. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 30, n. 1, dez. 2008.

MASON, N. W. H. et al. Functional characters combined with null models reveal inconsistency in mechanisms of species turnover in lacustrine fish communities. **Oecologia**, Berlim, v. 153, n. 2, abr. 2007.

MAYFIELD M. M. et al. Species and functional diversity of native and human-dominated plant communities. **Ecology**, Washington, v. 86, abr. 2005.

MCMAHON, S. M. et al. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity. **Trends Ecology Evolution**, Amsterdam, v. 26, 2011.

MEDEIROS, A. C. S. M.; EIRA, M. T. S. Comportamento Fisiológico, Secagem e Armazenamento de Sementes Florestais Nativas. **Embrapa Florestas**, Colombo, v. 1, 2006.

MEDEIROS, J. D.; SAVI, M.; ALVES DE BRITO, B. F. Seleção de áreas para criação de Unidades de Conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, Florianópolis, v. 18, n. 2, mar. 2005.

MELO, R. R. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista brasileira de ciência agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, mar. 2010.

MISSIO, F. F. et al. Functional traits of tree species in a fragment of Araucaria Forest in Lages, Santa Catarina state. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, mar. 2017.

MISSIO, F. F. et al. Trade-offs and spatial variation of functional traits of tree species in a subtropical forest in southern Brazil. **Iforest**, v. 9, abr. 2016.

MORI, E. S.; RODRIGUES, F. C. M. P.; FREITAS, N. P. **Sementes florestais: Guia para germinação de 100 espécies nativas**. Instituto Re flora: São Paulo, 2012.

MÜNZ, R. Welbevölkerung and weltweite Migration [A população terrestre e as migrações mundiais], publicado por Ernst Peter Fischer e Klaus Wiegand (ed) em *Die Zukunft der Erde* [O futuro da terra], Frankfurt am Main, 2006, pp. 98-117.

NAIMI, B. **usdm: Uncertainty Analysis for Species Distribution Models**. R package version 1.1-15, 2015.

NAPPO, M. E.; GOMES, L. J.; C.; Maria M. F. **Reflorestamentos mistos com essências nativas para recomposição de matas ciliares**. Boletim Agropecuário, Lavras, UFLA, n. 30, p. 5-31, 2001.

NORBERG, J. et al. Phenotypic diversity and ecosystem functioning in changing environments: a theoretical framework. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Allahabad, v. 98, n. 20, set. 2001.

NUNES, D. P. et al. Drying and reduction in sensitivity to desiccation of *Campomanesia xanthocarpa* seeds. **African Journal of Agricultural Research**, [S.i.], v. 10, n. 30, ago. 2015.

O'DOWD, D. J.; HAY, M. E. Mutualism between harvester ants and a desert ephemeral: seed escape from rodents. **Ecology**, Washington, v. 61, jul. 1980.

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**, Porto Alegre, v. 103, n. 3, set. 2013.



OSNAS, J. L. D. et al. Global Leaf Trait Relationships: Mass, Area, and the Leaf Economics Spectrum. **Science**, Washington, v. 340, maio 2013.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 30, n. 23, dez. 2003.

PACIFICI, M. et al. Assessing species vulnerability to climate change. **Nature climate change**, [S.i.], v. 5, fev. 2015.

PAISE, G.; VIEIRA, E. M. Produção de frutos e distribuição espacial de angiospermas com frutos zoocóricos em uma Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, set. 2005.

PARMESAN C. et al. Overstretching attribution. **Nature Climate Change**, [S.i.], v. 2, abr. 2011.

PEREIRA H. M. ET al. Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. **Science**, Washington, v. 330, out. 2010.

PENUELAS, J. et al. Faster returns on "leaf economics" and different biogeochemical niche in invasive compared with native plant species. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, jul. 2010.

PÉREZ-HARGUINDEGUY N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 61, abr. 2013.

PETCHEY, O. L.; E. O'GORMAN, E. J.; FLYNN, D. F. B. A functional guide to functional diversity measures. **Oxford University Press**, Oxford, jul. 2009.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letter**, Oxford, v. 9. n. 6, jul. 2006.

PILLAR, V. P.; DUARTE, L. A framework for metacommunity analysis of phylogenetic structure. **Ecology Letters**, Oxford, v. 13. n. 5, set. 2010.

PLATT, W. J. The colonization and formation of equilibrium plant species associations on badger disturbances in a tall-grass prairie. **Ecological Monographs**, n. 45, fev. 1975.

POORTER, L., et al. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five Neotropical forests. **Ecology**, Washington, v. 89, jul. 2008.

POORTER, H. et al. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytologist**, Cambridge, v. 182, abr. 2009.

POWERS, J. S.; TIFFIN, P. Plant functional type classifications in tropical dry forests in Costa Rica: leaf habit versus taxonomic approaches, **Functional Ecology**, Oxford, v. 24, n. 4, jul. 2010.

PRENTICE, K. C. Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation models. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. 11, jul. 1990.

R CORE TEAM. R: A **Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

RANDIN, C. F. et al. Climate change and plant distribution: local models predict high elevation persistence. **Global Change Biology**, Oxford, v. 15, n. 6, maio 2009.

RASBAND, W. S. **ImageJ**. Bethesda, USA: National Institute of Health, 2007. Disponível em: <<http://imagej.nih.gov/ij/>> Acesso em: 14 out. de 2017.

REGO, S. S. et al. Germinação de sementes de *Blepharocalyx salicifolius* (h.b.k.) berg. em diferentes substratos e condições de temperaturas, luz e umidade. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 31, n. 2, abr. 2009.

REGO, S. S. et al. Physiological behaviour of *Blepharocalyx salicifolius* and *Casearia decandra* seeds on the tolerance to dehydration. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 3, nov. 2013.

REICH P. B. et al. The evolution of plant functional variation: Traits, spectra, and strategies. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v. 164, n. 3, jan. 2003.

REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; WRIGHT, I. J. Leaf phosphorus influences the photosynthesis-nitrogen relation: a cross-biome analysis of 314 species. **Oecologia**, Berlin, v. 160, maio 2009.

REICH, P. B. The world-wide ‘fast-slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto. **Journal of Ecology**, London, v. 102, dez. 2014.

REICH, P. B.; ELLSWORTH, D. S.; WALTERS, M. B. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: evidence from within and across species and functional groups. **Functional Ecology**, Oxford, v. 12, n. 6, abr. 1998.

REIS, M. S.; LADIO, A. H.; PERONI, N. Landscapes with Araucaria in South America: evidence for a cultural dimension. **Ecology and Society: a journal of integrative science for resilience and sustainability**, Nova Scotia, v. 19, n. 2, maio 2014.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, Itajaí, v. 28, n. 30, 1978.

REUSCH, T. B. H. et al. Ecosystem recovery after climatic extremes enhanced by genotypic diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 102, n. 8, fev. 2005.

RICHARDS, C. L. et al. Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. **Ecology Letters**, Oxford, v. 9, jun. 2006.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science & technology**, Zurich, v. 1, jul. 1973.

ROCHA, E. C. **Qualidade de sementes de três espécies arbóreo - arbustivas da floresta ombrófila mista**. 2013. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

ROSENFELD, J. S. Logical Fallacies in the Assessment of Functional Redundancy, v. **Conservation biology**, Boston, 16, n. 3, jun. 2002.

ROYAL BOTANICAL GARDENS KEW. **Seed Information Database (SID)**, Version 7,1, 2008. Disponível em:: <http://data.kew.org/sid/>

SALAMIN, N. et al. Assessing rapid evolution in a changing environment. **Trends Ecology Evolution**, Amsterdam, v. 25, dez. 2010.

SALAZAR, F. L.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical research letters**, Washington, v. 34, abr. 2007.

SARUKHAN, J. Studies on plant demography: *Ranunculus repens* L., *R. bulbosus* L. and *R. acris* L. II. Reproductive strategies and seed population dynamics. **Journal of Ecology**, v. 62, mar. 1974.

SCHOLZE, M. et al. A climate-change risk analysis for world ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 103, n. 35, ago. 2006.

SCHWEINGRUBER, F. H. LANDOLT, W. **The Xylem Database**. Swiss Federal Research Institute WSL Updated, 2005.

SEXTON, J. P.; MCKAY, J. K.; SALA, A. Plasticity and the genetic diversity may allow saltcedar to invade cold climates in North America. **Ecology Applications**, v. 12, n. 6, dez. 2001.

SHIPLEY, B. Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. **Functional ecology**, Oxford, v. 16, n. 5, out. 2002.

SINHA, A.; DAVIDAR, P. Seed Dispersal Ecology of a Wind Dispersed Rain Forest Tree in the Western Ghats, India. **Biotropica**, Washington, v. 24, n. 4, dez. 1992.

SMITH, M.; WANG, T. B. S. P.; MSANGA, H. P. Chapter 5: Dormancy and Germination. In: **Tropical Tree Seed Manual**. [s.l]: USDA Forest Service's/Reforestation, Nurseries, & Genetics Resources, 2003.

SOBOLESKI, V. F. et al. Floristic-functional variation of tree component along an altitudinal gradient in araucaria forest areas, in Southern Brazil. **Anais da academia brasileira de ciências**, Rio de Janeiro, v. 89, jul. 2017 a.

SOBOLESKI, V. F. et al. Variação de atributos funcionais do componente arbóreo em função de gradientes edáficos em uma floresta nebulosa no sul do Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, set. 2017 b.

SOUZA, C. C. et al. Floristic-structural variation of natural regeneration along different topographic positions of an ecotonal forest in Santa Catarina, Brazil. **Revista árvore**, Viçosa, v. 41, ago. 2017.

SOUZA, T. V. et al. Seed dormancy in tree species of the Tropical Brazilian Atlantic Forest and its relationships with seed traits and environmental conditions. **Brazilian journal of botany**, São Paulo, v. 38, n. 2, jan. 2015.

THUILLER, W. et al. **Biomod2: Ensemble platform for species distribution modeling**. R package version 3.1-64, 2014.

THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M. B. Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 14, n. 4, jun. 2005.

URRY, J. **Climate Change and Society**. In: Michie J., Cooper C.L. (eds) Why the Social Sciences Matter. Palgrave Macmillan, London. 2015.

VALLADARES F.; BRITES, D. Leaf phyllotaxis: Does it really affect light capture?. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 174, n. 1, mar. 2004.

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**. 2. ed. Berlim: Springer-Verlag, 1972.

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**. Berlin: Springer-Verlag, 1982, 161p.

VANDERWAL, J, et al. **SDMTools: Species Distribution Modelling Tools: Tools for processing data associated with species distribution modelling exercises**. R package version 1.1-221, 2014.

VIEIRA, E. M.; IOB, G.; BECKER, R.G. **Mammals of the Araucaria forest**. In: Dutra TL (ed) Geological and biological aspects from a transect between the eastern part of southern Brazilian plateau and the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil: from the subtropical rainforest with *Araucaria angustifolia* to coastal peat bogs. Unisinos, São Leopoldo, Brazil, 2004.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, Buenos Aires, v. 116, n. 5, nov. 2007.

WALKER, B. H. Biodiversity and Ecological Redundancy. **Conservation Biology**, Boston, v. 6, n. 1, abr. 1997.

WALTHER G.R. et al. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, London, v. 416, mar. 2002.

WALTHER. G. R. Plants in a warmer world. Perspectives in Plant Ecology. **Evolution and Systematics**, Jena, v. 6, abr. 2003.

WEBB, C. T. et al. A structured and dynamic framework to advance traits-based theory and prediction in ecology. **Ecology Letters**, Oxford, v. 13, n. 3, dez. 2010.

WELZER, H. **Guerras climáticas**: Por que mataremos e seremos mortos no século 21. 1. ed. São Paulo: Geração editorial, 2010. 317p.

WIRTH, C.; LICHSTEIN, J. W. The Imprint of Species Turnover on Old-Growth Forest Carbon Balances - Insights From a Trait-Based Model of Forest Dynamics, Pages 81-113 in C, Wirth, G, Gleixner, and M, Heimann, editors, Old-Growth Forests: Function, Fate and Value. **Springer**, New York, Berlin, Heidelberg, 2009.

WRIGHT, I. J. et al. Assessing the generality of global leaf trait relationships. **New Phytologist**, Cambridge, v. 166, fev. 2005.

WRIGHT, I. J. et al. The world-wide leaf economics spectrum. **Nature**, London, v. 428, n. 6985, out. 2004.

WRIGHT, I. J. et al. Relationships among ecologically important dimensions of plant trait variation in seven Neotropical forests. **Annals of Botany**, London, v. 99, abr. 2007.

WRIGHT, S. J. et al. Functional traits and the growth-mortality tradeoff in tropical trees. **Ecology**, Washington, v. 91, dez. 2011.

ZANNE, A. E. et al. Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. **Nature**, London, v. 506, dez. 2013.