

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA  
DE ESPÉCIES DE *Plebeia* (APIDAE, MELIPONINI) FRENTE  
ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO SUBTROPICAL**

**Cristiano Kern Hickel**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
Av. Ipiranga 6681 - Caixa Postal 1429  
Fone: (051) 3320-3500 - Fax: (051) 3339-1564  
CEP 90619-900 Porto Alegre - RS  
Brasil

2015

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA  
DE ESPÉCIES DE *Plebeia* (APIDAE, MELIPONINI) FRENTE  
ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO SUBTROPICAL**

**Cristiano Kern Hickel**

**Orientadora: Dra. Betina Blochtein**

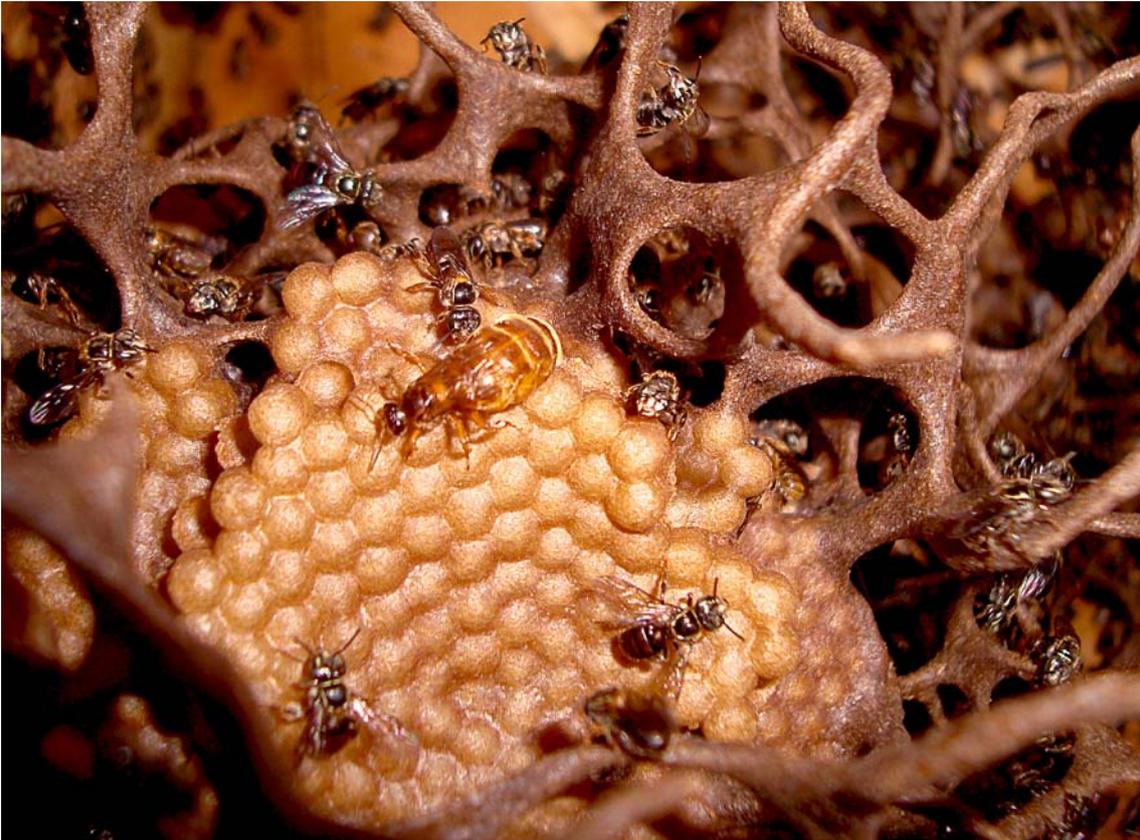
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
PORTO ALEGRE - RS - BRASIL  
2015**

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| DEDICATÓRIA.....   | iv   |
| EPÍGRAFE.....  | v    |
| AGRADECIMENTOS.....  | vi   |
| RESUMO.....  | vii  |
| ABSTRACT.....  | viii |
| APRESENTAÇÃO.....  | ix   |
| Capítulo I: Modelagem da distribuição geográfica de espécies de <i>Plebeia</i><br>(Hymenoptera, Meliponini) frente às mudanças climáticas na região subtropical..... | 11   |
| Resumo.....  | 12   |
| 1. Introdução.....   | 13   |
| 2. Material e métodos.....   | 17   |
| 2.1 A área de estudo e a caracterização do habitat.....  | 17   |
| 2.2 As espécies.....   | 19   |
| 2.3 Registros de ocorrência (Vouchers).....  | 19   |
| 2.4. Variáveis bioclimáticas.....  | 20   |
| 2.5 Modelo de máxima entropia.....   | 21   |
| 3. Resultados.....   | 22   |
| 3.1. Temperatura e precipitação.....   | 22   |
| 3.2. Modelagem.....  | 25   |
| 3.3. Habitats adequados.....   | 26   |
| 4. Discussão.....  | 31   |
| 4.1 Importância das variáveis climáticas.....  | 31   |
| 4.2 Distribuição geográfica das espécies.....  | 32   |
| 4.3 Implicações para polinização.....  | 33   |
| 5. Conclusões.....   | 34   |
| 6. Agradecimentos.....   | 35   |
| 7. Apêndice A.....   | 36   |
| 8. Referências.....  | 37   |
| APÊNDICE.....  | 46   |
| ANEXO.....   | 50   |

Dedico ao meu filho Benjamin,  
por falar em futuro...

## EPÍGRAFE



Ninho de *Plebeia remota*, exemplar de um salvamento para o corte de árvores da expansão urbana em Canela, Rio Grande do Sul (Foto de Ramon Mate Lucena).

*É bom que você sinta, com maior clareza, a função das grandes árvores como condutoras de energia. Lá estão elas, sempre a postos, canalizando as forças universais que cercam o mundo e que dele fazem parte. São magníficas sentinelas para nós e para a energia cósmica do universo. Permanecem enraizadas e em pé, transformando o poder em uma aura de paz.*

**Dorothy Maclean**

## AGRADECIMENTOS

Ao longo da vida nos deparamos com tantos desafios, nesses momentos é uma alegria perceber que não estamos sós. É impossível não reconhecer que não venceríamos essas etapas sem a ajuda e apoio necessários. Sinto-me contemplado e por isso gostaria de agradecer:

Aos colegas do laboratório e de aula na PUCRS, considero que todos participaram nesse meu processo de aprendizagem com ajudas valiosas, especialmente à Rosana pela incansável disposição e prontidão, ao Charles pela inspiração na programação em R e a todos com muito carinho,

À minha orientadora, Betina, pela confiança e pelo acolhimento dentro da Universidade que iniciou desde antes desse mestrado,

À minha família, que participa da minha vida em todos os momentos, especialmente aos meus pais pelo eterno e sempre presente estímulo,

À minha companheira Manoela e mãe de meu filho, por compartilhar comigo os momentos mais difíceis (e alegres também!) sempre com apoio incondicional,

Aos pesquisadores e suas instituições pela colaboração para o levantamento de informações sobre as abelhas: Gabriel Augusto Rodrigues de Melo (UFPR), Marcelo Teixeira Tavares (UFES), Regina Célia Botequio de Moraes (ESALQ/USP), Sinval Silveira Neto (ESALQ/USP), Evandson José dos Anjos Silva (UNEMAT), Denise A.Alves (CEPANN), Silvia Helena Sofia (MZUEL), Kelli dos Santos Ramos (MZUSP), Favízia Freitas de Oliveira (UFBA), Sidia Witter (FZB),

À CAPES pela concessão da bolsa.

## RESUMO

Os cenários futuros com mudanças climáticas podem levar a alterações na distribuição geográfica, ecologia e comportamento das espécies. No caso específico das abelhas, as alterações poderão ter consequências mais drásticas, pois esses insetos são importantes polinizadores em ambientes naturais e agrícolas. Baseado nisso, este trabalho analisou o efeito das alterações climáticas na distribuição geográfica de sete espécies de *Plebeia* de importância ecológica e econômica na zona subtropical da América do Sul nos cenários atual e futuro. Para isso foram identificadas as variáveis climáticas que mais provavelmente podem afetar a sua distribuição. As espécies estudadas foram *P. molesta*, *P. droryana*, *P. emerina*, *P. nigriceps*, *P. saiqui*, *P. remota* e *P. wittmanni*. A distribuição das espécies foi modelada utilizando as variáveis de temperatura, precipitação e altitude. Para descrever o clima futuro foram utilizadas as variáveis bioclimáticas para o ano de 2070, sob o cenário RCP4.5 definido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). A análise dos dados revelou que *P. nigriceps* e *P. saiqui* poderão ter as maiores reduções de área no futuro (>60%). Por outro lado, *P. emerina* poderá ter um aumento moderado na área de ocorrência (2,5%), enquanto que para *P. wittmanni*, estima-se um aumento expressivo (55%). A maioria das espécies estudadas tem grande relação com o bioma da Mata Atlântica, sendo que *P. droryana* e *P. remota* poderão ficar ainda mais restritas a esse bioma. A estimativa de mudança da temperatura para o cenário futuro poderá afetar a diapausa reprodutiva das espécies de *Plebeia* e o aumento estimado da precipitação poderá influenciar negativamente a atividade de voo. Caso as alterações no habitat das espécies se confirmem, o serviço de polinização de plantas nativas e culturas agrícolas poderá ser afetado.

## ABSTRACT

### **Modeling of species geographic distribution for *Plebeia* (Hymenoptera, Meliponini) under climate change in the subtropical region**

The climate change in future scenarios would result changes in the geographical distribution, ecology and behavior of species. In the case of bees, such changes may have more drastic impacts, because these insects are important pollinators in natural and agricultural environments. Based on this, this study analyzed the effect of climate change on the geographic distribution of seven species of *Plebeia* of ecological and economic importance in the subtropical zone of South America in the current and future scenarios. For that it were identified climate variables that will most likely affect their distribution. The studied species were *P. molesta*, *P. droryana*, *P. emerina*, *P. nigriceps*, *P. saiqui*, *P. remota* and *P. wittmanni*. The species distribution was modeled using the variables temperature, rainfall and altitude. To describe future climate it were used bioclimatic variables for the year 2070 under the RCP4.5 scenario from Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The analysis of data revealed that *P. nigriceps* and *P. saiqui* might have the largest reduction in area in the future (> 60%). On the other hand, *P. emerina* might have a moderate increase in the occurrence area (2.5%), whereas *P. wittmanni*, a significant increase (55%). Most of the studied species is strongly associated with the Atlantic Forest biome, and *P. droryana* and *P. remota* may be even more restricted to this biome. The estimated temperature change for the future scenario could affect the diapause species of *Plebeia* and the expected increase in rainfall may negatively influence the flight activity. If the changes in the habitat of the species are confirmed, the pollination service of native plants and crops may be affected.

## APRESENTAÇÃO

Vivenciamos hoje alterações no clima global, em decorrência do aumento da temperatura terrestre causado pela intensificação do efeito estufa. Desde a década de 1950, evidências científicas apontam para a possibilidade inequívoca de mudança no clima planetário. Dentre as implicações prováveis das mudanças climáticas, está a alteração na distribuição geográfica de espécies da flora e fauna. É sabido que o clima exerce grande influência sobre a distribuição natural das espécies.

As espécies de abelhas nativas estudadas neste trabalho, do gênero *Plebeia*, possuem sua ocorrência tipicamente na região de clima subtropical na América do Sul. Além da sua relação indissociável com a flora nativa, são apontadas como importantes polinizadoras na agricultura, por isso, ganham também importância econômica. Estas abelhas são alvo de outras importantes pesquisas, as quais visam a sua conservação e também a multiplicação de colméias em larga escala para atender a demanda da polinização agrícola. Na região subtropical da América do Sul é onde está localizada cerca de 40 % da produção agrícola de cereais, leguminosas e oleaginosas do Brasil, todo o território do Uruguai e toda área agricultável da Argentina.

É neste contexto que este trabalho se insere, modelando a distribuição geográfica atual e futura de um grupo de abelhas eussociais de relevante importância ecológica e econômica. A premissa de que as abelhas são sensíveis às condições do clima de seu habitat se evidencia nos resultados de estudos, os quais demonstram que a atividade de voo das abelhas, a disponibilidade de recursos alimentares e de nidificação e reprodução são diretamente influenciados pelo clima.

Uma das questões centrais quando se trata de buscar o conhecimento e a conservação de abelhas se dá pela reconhecida importância na polinização. A polinização das plantas por animais silvestres é uma função ecológica essencial, papel bem desempenhado pelos insetos, especialmente pelas abelhas. A conservação de muitos habitats depende da preservação das populações de abelhas, sem as quais a reprodução da maior parte da flora estaria severamente limitada.

Com base no histórico apresentado, será que as condições climáticas futuras provocarão alterações na distribuição geográfica das sete espécies de *Plebeia* estudadas?

Para responder esta questão, foi utilizado um programa de computador de distribuição de espécies para conhecer a área de ocorrência potencial atual e a futura. Com os resultados obtidos neste estudo foi produzido um artigo científico, apresentado aqui na forma de Capítulo: **Modelagem de distribuição geográfica de espécies de *Plebeia* (Hymenoptera,**

**Meliponini) frente às mudanças climáticas na região subtropical.** Este artigo será submetido à revista "Agriculture, Ecosystems & Environment". A formatação utilizada neste capítulo segue as normas da revista, salvo pequenas modificações para compatibilizar com o formato da dissertação (ex.: texto justificado). No apêndice estão os códigos de programação em R utilizados nos testes estatísticos e na geração dos gráficos, dentre outras informações complementares. Algumas expressões no texto foram mantidas em inglês para que não se perca a fidelidade de tradução e/ou por não existir equivalente razoável em português. As figuras das composições cartográficas envolvem bancos de dados originalmente desenvolvidos em inglês, com vistas à publicação, por isso também preservam o texto em inglês.

1 **Capítulo I**

2 **Modelagem da distribuição geográfica de espécies de *Plebeia* (Hymenoptera, Meliponini)**

3 **frente às mudanças climáticas na região subtropical**

4 Cristiano Kern Hickel, Rosana Halinski, Charles Fernando dos Santos, Betina Blochtein

5 Programa de Pós-graduação em Zoologia, Faculdade de Biociências, Pontifícia Universidade

6 Católica do Rio Grande do Sul, Av. Ipiranga, 6681, CEP 90619-900, Porto Alegre/RS, Brasil.

7 Autor correspondente: cristiano.hickel@gmail.com. Fone: +55 (51) 3353 4376.

8

## 9 **Resumo**

10 Os cenários futuros com mudanças climáticas podem levar a alterações na distribuição  
11 geográfica, ecologia e comportamento das espécies. No caso específico das abelhas, as  
12 alterações poderão ter consequências mais drásticas, pois esses insetos são importantes  
13 polinizadores em ambientes naturais e agrícolas. Baseado nisso, este trabalho analisou o efeito  
14 das alterações climáticas na distribuição geográfica de sete espécies de *Plebeia* de importância  
15 ecológica e econômica na zona subtropical da América do Sul nos cenários atual e futuro. Para  
16 isso foram identificadas as variáveis climáticas que mais provavelmente podem afetar a sua  
17 distribuição. As espécies estudadas foram *P. molesta*, *P. droryana*, *P. emerina*, *P. nigriceps*, *P.*  
18 *saiqui*, *P. remota* e *P. wittmanni*. A distribuição das espécies foi modelada utilizando as  
19 variáveis de temperatura, precipitação e altitude. Para descrever o clima futuro foram  
20 utilizadas as variáveis bioclimáticas para o ano de 2070, sob o cenário RCP4.5 definido pelo  
21 *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). A análise dos dados revelou que *P.*  
22 *nigriceps* e *P. saiqui* poderão ter as maiores reduções de área no futuro (>60%). Por outro lado,  
23 *P. emerina* poderá ter um aumento moderado na área de ocorrência (2,5%), enquanto que  
24 para *P. wittmanni*, estima-se um aumento expressivo (55%). A maioria das espécies estudadas  
25 tem grande relação com o bioma da Mata Atlântica, sendo que *P. droryana* e *P. remota*  
26 poderão ficar ainda mais restritas a esse bioma. A estimativa de mudança da temperatura para  
27 o cenário futuro poderá afetar a diapausa reprodutiva das espécies de *Plebeia* e o aumento  
28 estimado da precipitação poderá influenciar negativamente a atividade de voo. Caso as  
29 alterações no habitat das espécies se confirmem, o serviço de polinização de plantas nativas e  
30 culturas agrícolas poderá ser afetado.

31

32 Palavras-chave: Declínio de polinizadores; Abelhas-sem-ferrão; Perda de habitat; Mudanças  
33 climáticas; Modelagem de habitat; Adequabilidade de habitat; Canola.

34

35 **Destaques**

36 Modelamos a distribuição geográfica potencial de sete espécies de abelhas-sem-ferrão do

37 gênero *Plebeia* sob as condições de clima atual e futuro.

38 *Plebeia nigriceps* e *P. saiqui* poderão perder mais de 60% de habitat para o ano de 2070.

39 *Plebeia wittmanni* poderá ter um aumento de habitat expressivo (55%).

40 A maioria das espécies estudadas tem grande relação com o bioma Mata Atlântica.

41

42

## 43 **1. Introdução**

44 Aquecimento global é o aumento da temperatura terrestre causado pela intensificação do  
45 efeito estufa, que significa a retenção da radiação termal emitida pela Terra por constituintes  
46 da atmosfera. Desde a década de 1950, evidências científicas apontam para a possibilidade  
47 inequívoca de mudança no clima planetário devido ao aumento da concentração de gases de  
48 efeito estufa na atmosfera, dentre os quais estão o dióxido de carbono, o metano, os óxidos  
49 nitrosos e até mesmo o vapor d'água (Lacerda e Nobre, 2010). Uma das evidências do  
50 aquecimento foi destacada no último relatório de avaliação do Grupo de Trabalho I, do Painel  
51 Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), afirmando que cada uma das últimas  
52 três décadas foi sucessivamente mais quente na superfície da Terra do que qualquer década  
53 precedente desde 1850 (IPCC, 2013). Dentre as implicações prováveis das mudanças climáticas  
54 está a alteração na distribuição de espécies da flora e fauna (Marengo, 2006). Existe hoje um  
55 alerta muito forte da comunidade científica internacional para que se busque antever as  
56 conseqüências das mudanças climáticas sobre a conservação de espécies (Akçakaya et al.,  
57 2014; Keith et al., 2014; Stanton et al., 2015; Watson, 2014).

58 Existe uma premissa central na biogeografia de que o clima exerce um controle dominante  
59 sobre a distribuição natural das espécies afetando de modo adverso o comportamento dos  
60 animais (Pearson, 2003), possivelmente influenciando na fenologia do inseto (e.g. diapausa  
61 reprodutiva) (Santos et al., 2015) e nas relações de planta-polinizador, planta-herbivoria e  
62 planta-dispersão (Bale et al., 2002; Hegland et al., 2009; Warren e Bradford, 2014). Para  
63 algumas abelhas polinizadoras de culturas agrícolas, é sabido que a alteração do clima resulta  
64 em modificações da ecologia ou comportamento já observados ou preditos por modelos de  
65 distribuição de espécies (Santos et al., 2015). Uma das alterações observadas para as abelhas é  
66 a alteração do habitat, em que esse pode ou não ser adequado à espécie, e assim interferindo  
67 no serviço de polinização prestado por elas (Giannini et al., 2012).

68 Diversos estudos demonstram que está em curso em nível mundial o declínio dos  
69 polinizadores, dentre os quais as abelhas têm papel fundamental (Brown e Paxton, 2009; Potts  
70 et al., 2010). Há diversos fatores relacionados a este declínio, como a perda de habitat pela  
71 degradação e fragmentação, uso indiscriminado de pesticidas, espécies invasoras, doenças e a  
72 mudança climática. Esses fatores não agem isoladamente, dificultando o entendimento da  
73 causa. No entanto, a mudança do clima poderá ser a grande ameaça futura às populações de  
74 abelhas ao mudar sua distribuição, possivelmente influenciando as atuais práticas de  
75 agricultura (Bálint et al., 2011; Barnosky et al., 2011; Geyer et al., 2011; Hannah et al., 2013;  
76 IUCN, 2009; Kuhlmann et al., 2012; Siqueira, 2009; Thomas et al., 2004; Watson et al., 2013;  
77 Williams et al., 2008).

78 Em uma revisão sobre a importância dos polinizadores, Klein et al. (2007) levantaram que  
79 a polinização por animais selvagens é um serviço ecossistêmico essencial e que 70% das  
80 culturas tropicais têm alguma dependência de polinização pelos animais, enquanto a produção  
81 de 84% das culturas européias depende diretamente de insetos polinizadores. Este mesmo  
82 estudo aponta que cerca de 70% das principais culturas usadas diretamente na alimentação  
83 humana no mundo têm algum grau de dependência dos polinizadores. Estima-se que 87,5%  
84 das espécies das angiospermas são dependentes da polinização por animais e que a maior  
85 parte das espécies de árvores das florestas tropicais é polinizada por insetos, dos quais a  
86 maioria são abelhas (Ollerton et al., 2011). A conservação de muitos habitats depende da  
87 preservação das populações de abelhas, sem as quais a reprodução da maior parte da flora  
88 estaria severamente limitada (Michener, 2007). O atual declínio de populações de insetos  
89 polinizadores chama a atenção, ainda, pelo valor econômico potencial que representa. Em  
90 estudo realizado por Gallai et al. (2009), estimou-se que a produção mundial das principais  
91 culturas usadas para alimentação humana no ano de 2005 foi de €1618 trilhões, dentro deste  
92 €153 bilhões representado pela polinização por insetos. Para a América do Sul a polinização  
93 representou €11,6 bilhões. Para Aizen et al. (2009), a ausência de polinizadores representa

94 uma redução direta na produção agrícola total de 3 a 8%. O autor destaca, contudo, que como  
95 consequência o aumento percentual em área cultivada necessária para compensar esses  
96 déficits será várias vezes superior, especialmente nos países em desenvolvimento onde estão  
97 compreendidos dois terços da terra destinada ao cultivo agrícola mundial. Precisamente, na  
98 região subtropical da América do Sul, área alvo deste estudo, é onde está localizada cerca de  
99 40 % da produção agrícola de cereais, leguminosas e oleaginosas do Brasil, todo o território do  
100 Uruguai e toda área agricultável da Argentina (IBGE, 2015; IGM, 1989).

101 Neste contexto, encontram-se as espécies estudadas neste trabalho, abelhas eussociais de  
102 ocorrência tipicamente subtropical na América do Sul e de relevante importância ecológica e  
103 econômica. A premissa de que as abelhas são sensíveis às condições climáticas de seu habitat  
104 foi evidenciada em outros estudos, em que se demonstrou que a atividade de vôo (Hilário et  
105 al., 2012; Pick e Blochtein, 2002a), a disponibilidade de recursos alimentares e de nidificação  
106 (Pick e Blochtein, 2002b) e reprodução (Santos et al., 2015) são diretamente influenciados pelo  
107 clima.

108 As abelhas estão distribuídas de diferentes formas ao redor do mundo, variando conforme  
109 as condições climáticas e geográficas (Michener, 1979; Roubik, 1989). A tribo Meliponini,  
110 popularmente conhecida por abelhas-sem-ferrão, é integrada por mais de 500 espécies  
111 descritas (Michener, 2013). As abelhas-sem-ferrão formam um grupo essencialmente tropical,  
112 sendo a maior abundância e diversidade encontrada no Neotrópico (Camargo e Pedro, 1992).  
113 Dentre elas, *Plebeia* Schwarz, 1938 é um gênero de abelhas cuja ocorrência é quase  
114 exclusivamente dentro na zona ecológica neotropical, ou seja, desde o norte do México  
115 (incluindo o extremo sul da região neártica) até a região da província de Buenos Aires, na  
116 Argentina. Das 40 espécies de *Plebeia* descritas, 10 ocorrem exclusiva ou predominantemente  
117 na região subtropical da América do Sul (Camargo e Pedro, 2013). Na sua região de ocorrência  
118 natural, as espécies de *Plebeia* são importantes na conservação de espécies de plantas nativas  
119 e também são apontadas como importantes polinizadoras de diversas culturas agrícolas, tais

120 como maçã, morango, café, pepino, laranja, canola e outras plantas tropicais e subtropicais,  
121 ganhando assim importância econômica (Dorneles et al., 2013; Heard, 1999; Slaa et al., 2006;  
122 Tschoeke et al., 2015; Witter et al., 2012, 2015). As alterações de habitat, portanto, podem  
123 resultar em danos à polinização prestada por estas abelhas na agricultura. Além disso, as  
124 espécies de *Plebeia* entram em diapausa reprodutiva nas épocas frias do ano, por isso modelar  
125 o cenário atual e futuro pode ajudar a compreender o período de atividade das espécies em  
126 relação à polinização das culturas agrícolas.

127 Deste modo, o objetivo principal deste trabalho foi analisar o efeito das alterações  
128 climáticas na distribuição geográfica de sete espécies de *Plebeia* na região subtropical da  
129 América do Sul em cenários atual e futuro. Para isso foram identificadas as variáveis climáticas  
130 que mais provavelmente podem afetar a distribuição das espécies estudadas. Os dados foram  
131 discutidos considerando a biologia das espécies de *Plebeia* e as possíveis implicações para as  
132 plantas nativas e culturas agrícolas de interesse.

133

## 134 **2. Material e métodos**

### 135 **2.1 A área de estudo e a caracterização do habitat**

136 A área de estudo compreende a região de clima subtropical na América do Sul,  
137 incluindo o Brasil (estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, parte de São Paulo e  
138 Mato Grosso do Sul), Chile, Paraguai, Argentina e Uruguai, inseridos na faixa delimitada pelos  
139 paralelos 23°27'30" e 35° ao sul do Trópico de Capricórnio (Fig. 1). Dentro dessa região  
140 climática, segundo a classificação Köppen-Geiger, as estações de verão e inverno são bem  
141 definidas, com clima úmido, precipitação em todos os meses do ano, inexistência de estação  
142 seca bem definida, com verões quentes ou temperados, com variações conforme a altitude ou  
143 a proximidade com o oceano (Peel et al., 2007).

144



145  
 146 **Fig. 1.** Região climática subtropical na América do Sul segundo a classificação Köppen-Geiger.  
 147

148  
 149 A caracterização do habitat das abelhas foi realizada através da projeção de pontos de  
 150 ocorrência em coordenadas geográficas sobre as variáveis de temperatura, precipitação e

151 altitude. As variáveis representam as camadas em uma composição cartográfica realizada com  
152 os programas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) Qgis e ArcGis, e são as mesmas  
153 utilizadas pelo algoritmo de modelagem de distribuição potencial.

154

## 155 **2.2 As espécies**

156 As espécies para este estudo foram escolhidas considerando os critérios de limite  
157 geográfico e climático (região subtropical da América do Sul) e conhecimento prévio das  
158 espécies de *Plebeia* que ocorrem nessa região segundo o *Catalogue of Bees* (Hymenoptera,  
159 Apoidea) *in the Neotropical Region online version* (Camargo e Pedro, 2013). As seguintes  
160 espécies foram escolhidas: *P. molesta* (Puls, in Strobel, 1868), *P. droryana* (Friese, 1900), *P.*  
161 *emerina* (Friese, 1900), *P. saiqui* (Friese, 1900), *P. remota* (Holmberg, 1903), *P. nigriceps*  
162 (Friese, 1900) e *P. wittmanni* Moure & Camargo, 1989. As primeiras espécies nidificam  
163 preferencialmente em cavidades de árvores, mas também podem construir seus ninhos em  
164 muros ou construções urbanas e as duas últimas nidificam em rochas graníticas (Nogueira-  
165 Neto, 1997; Wittmann, 1989).

166

## 167 **2.3 Registros de ocorrência (Vouchers)**

168 Os registros de ocorrência foram obtidos na rede speciesLink, Global Biodiversity  
169 Information Facility (GBIF) e nas coleções científicas: CEMeC, Coleção Entomológica Moure &  
170 Costa, Salvador; CEPANN, Coleção Entomológica Paulo Nogueira-Neto, São Paulo; DZUP-  
171 Hymenoptera, Coleção Entomológica Pe. Jesus Santiago Moure, Curitiba; MZUEL-Abelhas,  
172 Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Londrina Coleção de Abelhas, Londrina; UFES-  
173 Entomologia, Coleção Entomológica da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória; Museu  
174 de Entomologia da ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba; Coleção Entomológica da  
175 Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres; MZUSP, Museu de Zoologia da Universidade  
176 de São Paulo, São Paulo; Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande

177 do Sul, Porto Alegre; MCP, Coleção de Abelhas do Museu de Ciências e Tecnologia da Pontifícia  
178 Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Foram obtidos mais de 2000  
179 registros para as espécies estudadas, dos quais 247 foram úteis à modelagem de distribuição,  
180 pois havia registros duplicados com as mesmas coordenadas geográficas ou sem informação  
181 da localização. A quantidade de registros por espécie é apresentado na tabela 2.

182 Cabe ressaltar que os registros obtidos não representam todo o universo de ocorrência  
183 possível das espécies. No entanto, ao observar a abrangência do espaço geográfico coberto  
184 pelas campanhas de amostragem registradas nas coleções consultadas, é possível inferir que a  
185 base de dados formada é viável para o propósito deste estudo.

186

#### 187 **2.4. Variáveis bioclimáticas**

188 Para a modelagem geográfica das áreas de ocorrência atual das espécies foram  
189 utilizadas uma camada de altitude e 19 camadas bioclimáticas, as quais são derivadas dos  
190 valores da temperatura e precipitação do período 1950 a 2000. Essas variáveis representam  
191 tendências anuais, sazonalidade e fatores ambientais extremos ou limitantes (Tabela 1). Os  
192 cenários futuros foram construídos a partir da projeção dessas variáveis para o ano de 2070  
193 (Hijmans et al., 2005), sob o Modelo Climático "Global Community Climate System Model"  
194 (CCSM4) (Gent et al., 2011) para o cenário de emissões de gases de efeito estufa RCP4.5  
195 ("Representative Concentration Pathways") (Thomson et al., 2011). Os dados de altitude foram  
196 obtidos através do programa Variáveis Ambientais para Modelagem de Distribuição de  
197 Espécies (AMBDATA), vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Amaral et al.,  
198 2013). A resolução espacial das variáveis é de 30 segundos ( $0,93 \times 0,93 = 0,86 \text{ km}^2$  no  
199 equador). Para o cálculo de área neste estudo assumiu-se o tamanho da célula no equador.

200

201

202

203

204 **Tabela 1** - Variáveis bioclimáticas utilizadas para a modelagem geográfica das espécies.

| Variáveis bioclimáticas  |   |                           |  |
|--------------------------|---|---------------------------|--|
| Derivadas de temperatura |   | Derivadas de precipitação |  |
| Código                   | Descrição   | Código                    | Descrição  |
| bio1                     | Temperatura média anual                                 | bio12                     | Precipitação anual                                     |
| bio2                     | Faixa diurna média (média mensal (temp max - temp min)) | bio13                     | Precipitação do mês mais úmido                         |
| bio3                     | Isotermalidade (bio2/bio7) (* 100)                      | bio14                     | Precipitação do mês mais seco                          |
| bio4                     | Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100)        | bio15                     | Sazonalidade de precipitação (Coeficiente de variação) |
| bio5                     | Temperatura máxima do mês mais quente                   | bio16                     | Precipitação do trimestre mais úmido                   |
| bio6                     | Temperatura mínima do mês mais frio                     | bio17                     | Precipitação do trimestre mais seco                    |
| bio7                     | Faixa de temperatura anual (bio5-bio6)                  | bio18                     | Precipitação do trimestre mais quente                  |
| bio8                     | Temperatura média do trimestre mais úmido               | bio19                     | Precipitação do trimestre mais frio                    |
| bio9                     | Temperatura média do trimestre mais seco                |                           |  |
| bio10                    | Temperatura média do trimestre mais quente              |                           |  |
| bio11                    | Temperatura média do trimestre mais frio                |                           |  |

205

## 206 **2.5 Modelo de máxima entropia**

207 O algoritmo de modelagem utilizado foi o de máxima entropia utilizando o programa  
208 de computador Maxent (Phillips et al., 2006). Este modelo busca encontrar a maior  
209 propagação para um conjunto de dados geográficos de presença de espécies em relação a um

210 conjunto de variáveis ambientais (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). Assim para cada  
211 espécie foi obtida uma matriz espacial de distribuição potencial de ocorrência contendo as  
212 variáveis bioclimáticas, altitude e pontos de ocorrência.

213 Os arquivos originais das variáveis foram convertidos para o formato ASCII e a sua  
214 extensão foi recortada para área de estudo com utilização do programa Esri ArcMap© e  
215 QGIS©. As variáveis bioclimáticas foram submetidas a uma análise de correlação para que  
216 fossem eliminadas aquelas fortemente correlacionadas que pudessem prejudicar a  
217 performance estatística do modelo (Segurado et al., 2006). O teste foi realizado para cada  
218 espécie individualmente através da função Variance Inflation Factor (VIF), do pacote "usdm"  
219 do programa R (Dormann et al., 2012; Naimi et al., 2013). Para rodar o teste foi preparada uma  
220 matriz com as informações das variáveis bioclimáticas extraídas nos pontos de ocorrência de  
221 cada espécie. O resultado de VIF maior que 10 é um sinal que o modelo teve problema de  
222 colinearidade sendo, portanto, excluídas essas variáveis (Chatterjee e Hadi, 2006). As variáveis  
223 bio1 e bio12 não foram utilizadas na modelagem para todas as espécies (resultado do teste de  
224 correlação).

225

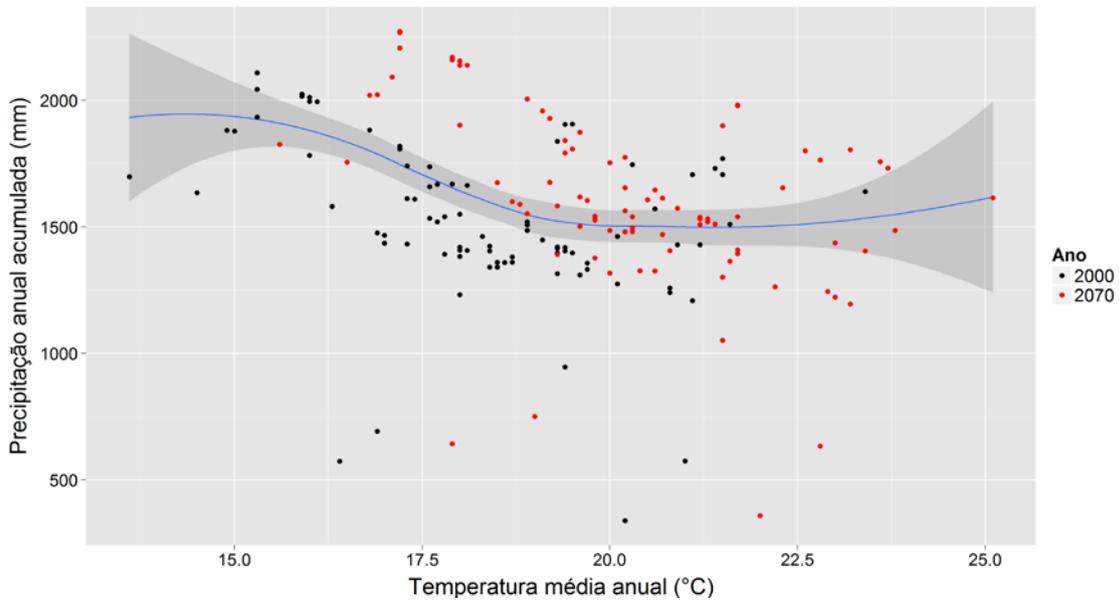
### 226 **3. Resultados**

#### 227 **3.1. Temperatura e precipitação**

228 A caracterização das condições atuais do clima para a temperatura média anual (bio1),  
229 observada nos pontos de ocorrência entre todas as espécies, variou de 13,9°C a 22°C, e a  
230 precipitação anual (bio12) de 337 mm a 1950 mm. Para o clima futuro variou de 15,60 °C a  
231 25,10 °C e 359 mm a 2272 mm (Fig. 2).

232

233

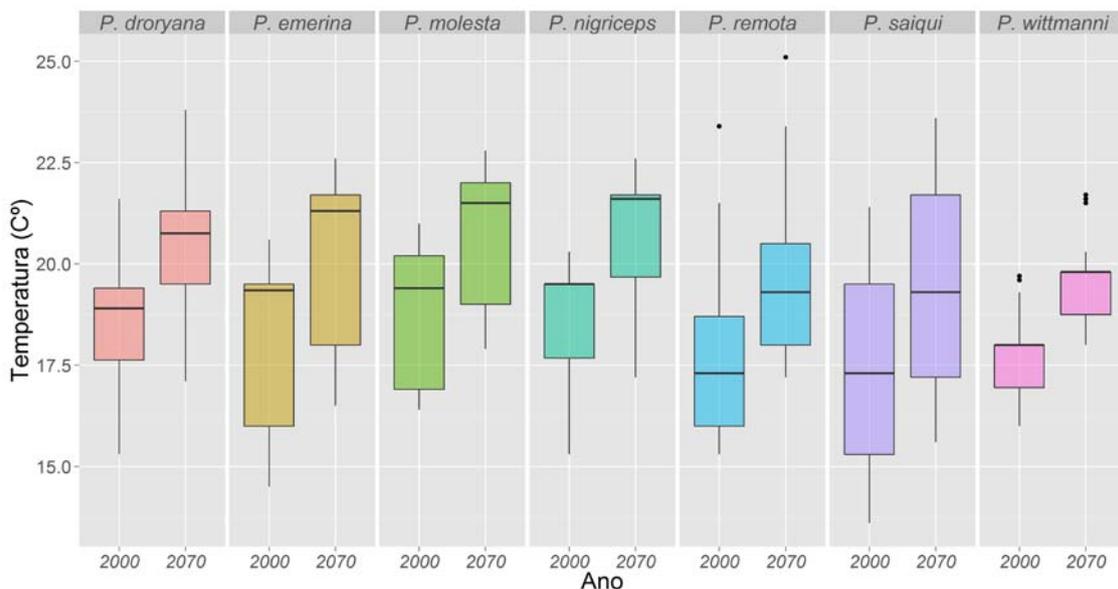


234  
 235 **Fig. 2.** Caracterização das condições do clima nos pontos de ocorrência utilizados neste estudo das  
 236 espécies de *Plebeia*, correspondentes ao clima atual (2000) e futuro (2070) considerando as variáveis de  
 237 precipitação acumulada anual e temperatura média anual.

238  
 239

240 A comparação entre a temperatura média anual na área das espécies mostrou que a  
 241 mudança mais drástica entre os cenários atual e futuro possivelmente será para *P. droryana*, *P.*  
 242 *nigriceps* e *P. wittmanni*, em que a temperatura estimada no futuro apresenta pouca ou  
 243 nenhuma sobreposição com a atual (Fig. 3).

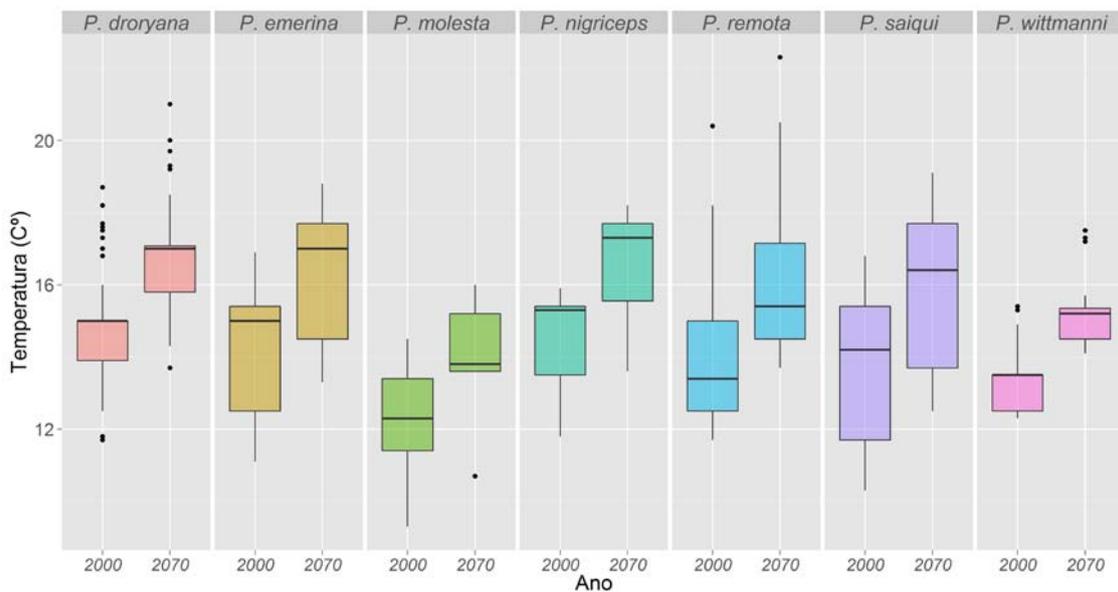
244



245  
 246 **Fig. 3.** Comparação da temperatura média anual nos pontos de ocorrência das sete espécies de *Plebeia*  
 247 no cenário atual e futuro. Boxplot: mediana, primeiro e terceiro quartil, linhas inferiores e superiores  
 248 com valores mínimos e máximos e pontos indicando os *outliers*.

249 Ao analisar a faixa de variação da temperatura média do trimestre mais frio,  
250 evidenciou-se que *P. droryana*, *P. molesta*, *P. nigriceps* e *P. wittmanni* poderão ter uma  
251 mudança mais drástica entre os cenários atual e futuro. Este parâmetro foi destacado, pois se  
252 relaciona diretamente com a biologia dessas abelhas - e.g. diapausa reprodutiva (Santos *et al.*,  
253 2014) - (Fig. 4).

254



255

256

257 **Fig. 4.** Temperatura média do trimestre mais frio nos pontos de ocorrência utilizados neste estudo das  
258 espécies de *Plebeia*, correspondentes ao clima atual (2000) e futuro (2070). Boxplot: mediana, primeiro  
259 e terceiro quartil, linhas inferiores e superiores com valores mínimos e máximos e pontos indicando os  
260 *outliers*.

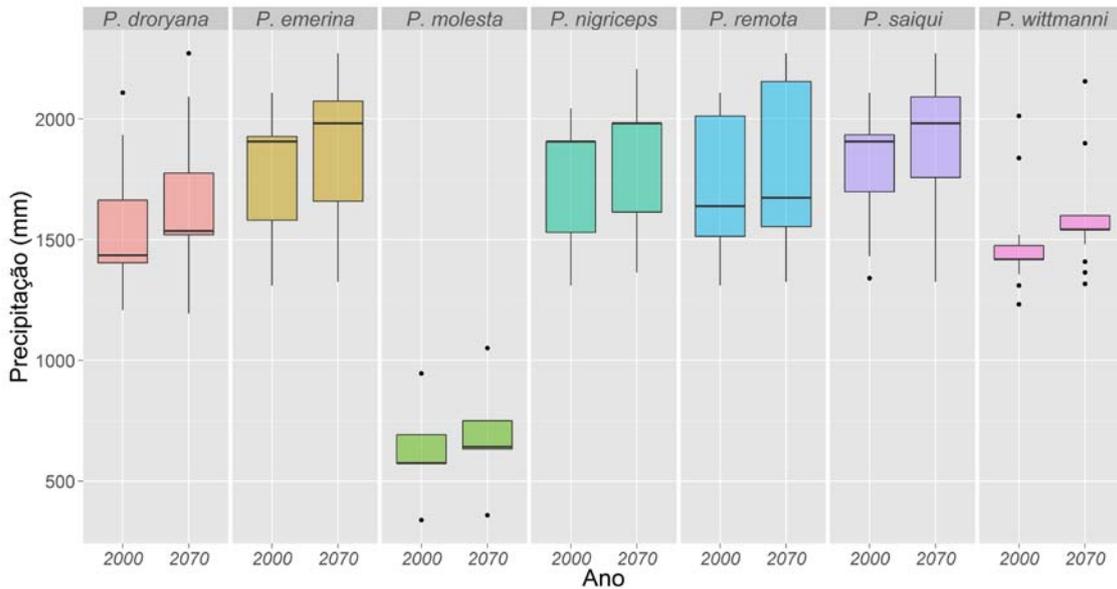
260

261 Em relação à precipitação, *P. wittmanni* continua mantendo a maior variação como  
262 observado para temperatura. Já para as demais espécies poderá haver uma leve tendência no  
263 aumento da precipitação (Fig. 5).

264

265

266



267  
 268 **Fig. 5.** Comparação da precipitação anual nos pontos de ocorrência das sete espécies de *Plebeia* no  
 269 cenário atual e futuro. Boxplot: mediana, primeiro e terceiro quartil, linhas inferiores e superiores com  
 270 valores mínimos e máximos e pontos indicando os *outliers*.  
 271

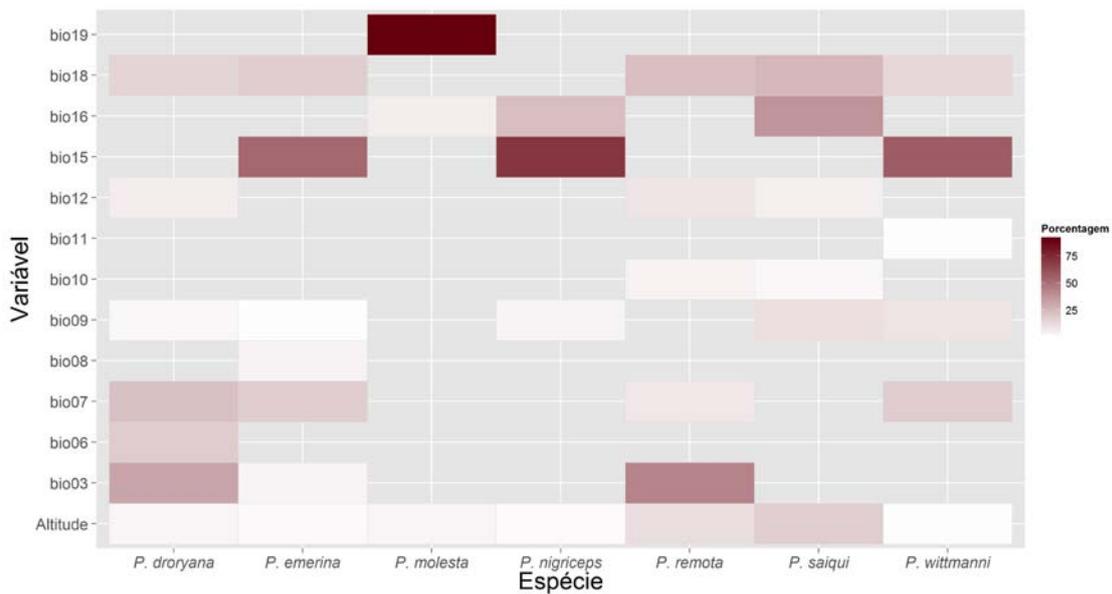
### 272 3.2. Modelagem

273 Os modelos obtidos para todas as espécies resultaram em valores de AUC (área sob a  
 274 curva) maior que 0,9 e podem ser considerados precisos. Esta análise mostra o quão bem o  
 275 modelo realiza a previsão de ocorrências em comparação com uma seleção aleatória de  
 276 pontos, quando então AUC resultaria em 0,5 (Phillips et al., 2006). Um total de 247 pontos de  
 277 ocorrência foram efetivamente utilizados pelo modelo. Após analisar a correlação entre as  
 278 variáveis bioclimáticas, aquelas correlacionadas foram excluídas restando para cada espécie: *P.*  
 279 *droryana*: bio3, bio6, bio7, bio9, bio12, bio18; *P. emerina*: bio3, bio7, bio8, bio9, bio15, bio18;  
 280 *P. molesta*: bio16, bio19; *P. nigriceps*: bio9, bio10, bio15, bio16; *P. remota*: bio3, bio7, bio9,  
 281 bio10, bio12, bio18; *P. saiqui*: bio9, bio10, bio12, bio16, bio18 e *P. wittmanni*: bio7, bio9,  
 282 bio11, bio15, bio19. As contribuições relativas das variáveis ambientais aos modelos de cada  
 283 espécie são mostradas na figura 6.

284

285

286



287  
 288 **Fig. 6.** Estimativa das contribuições relativas das variáveis bioclimáticas e altitude ao modelo para cada  
 289 espécie. Os espaços não preenchidos indicam as variáveis que foram excluídas após a análise de  
 290 correlação para cada espécie.  
 291

### 292 3.3. Habitats adequados

293 Na análise das áreas de ocorrência das espécies no cenário atual e futuro observamos  
 294 que as maiores reduções em área foram de *P. nigriceps* e *P. saiqui*, 83% e 63%,  
 295 respectivamente, seguido de *P. remota*, com 31%, e *P. droryana*, com 25% de perda. Em  
 296 contrapartida, *P. emerina* e *P. wittmanni* demonstraram aumento de área potencialmente  
 297 adequada no futuro, sendo que *P. wittmanni* demonstrou uma expressiva possibilidade de  
 298 expansão (55%) (Tabela 2). Em relação ao deslocamento, *P. droryana* e *P. remota* demonstram  
 299 um provável deslocamento em direção a leste, saindo do interior e concentrando a maior  
 300 probabilidade de ocorrência no litoral do Brasil (Fig. 7 a 9). A modelagem resultante de *P.*  
 301 *molesta* indicou como área provável de ocorrência uma região separada pela Cordilheira dos  
 302 Andes e outra no nordeste do Brasil, ambas sem qualquer conectividade aparente com o local  
 303 conhecido da espécie. Essas regiões foram desconsideradas no cálculo de área de distribuição  
 304 da espécie (Figura 10).

305

306

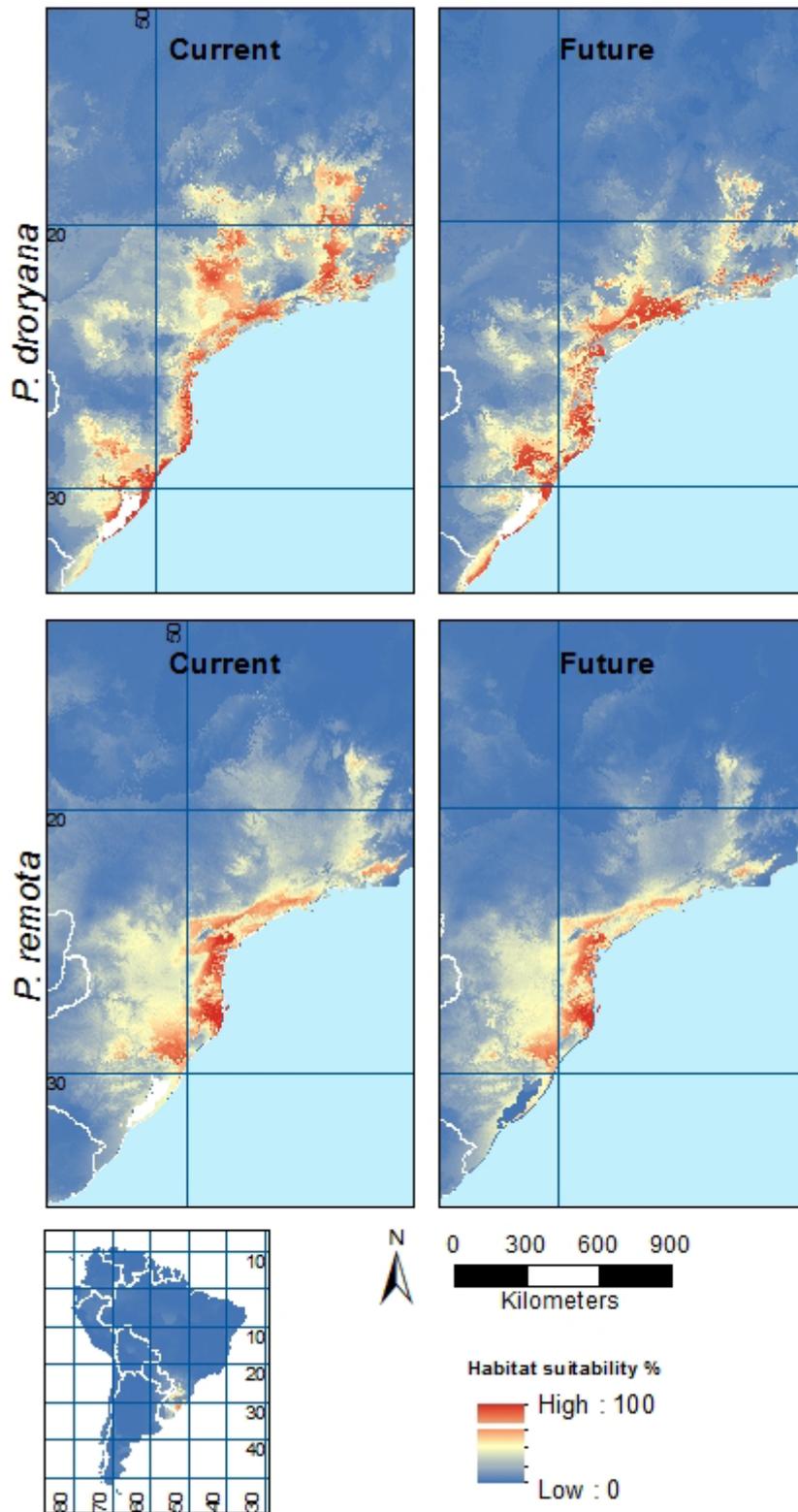
307 **Tabela 2** - Espécies de *Plebeia*, número de registros de ocorrência, área atual e futura e porcentagem de  
 308 modificação da área.

| <b>Espécie</b>           | <b>nº de registros de<br/>ocorrência</b> | <b>Presente<br/>(km<sup>2</sup>)</b> | <b>Futuro<br/>(km<sup>2</sup>)</b> | <b>%<br/>modificação</b> |
|--------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| <i>Plebeia droryana</i>  | 112                                      | 101.708                              | 75.632                             | -25,64                   |
| <i>Plebeia emerina</i>   | 41                                       | 15.916                               | 16.309                             | +2,54                    |
| <i>Plebeia molesta</i>   | 9  | 1.149.113                            | 1.039.129                          | -9,57                    |
| <i>Plebeia nigriceps</i> | 17                                       | 69.364                               | 25.234                             | -63,62                   |
| <i>Plebeia remota</i>    | 33                                       | 46.996                               | 32.148                             | -31,59                   |
| <i>Plebeia saiqui</i>    | 22                                       | 94.931                               | 15.809                             | -83,35                   |
| <i>Plebeia wittmanni</i> | 26                                       | 7.996                                | 12.440                             | +55,57                   |

309

310

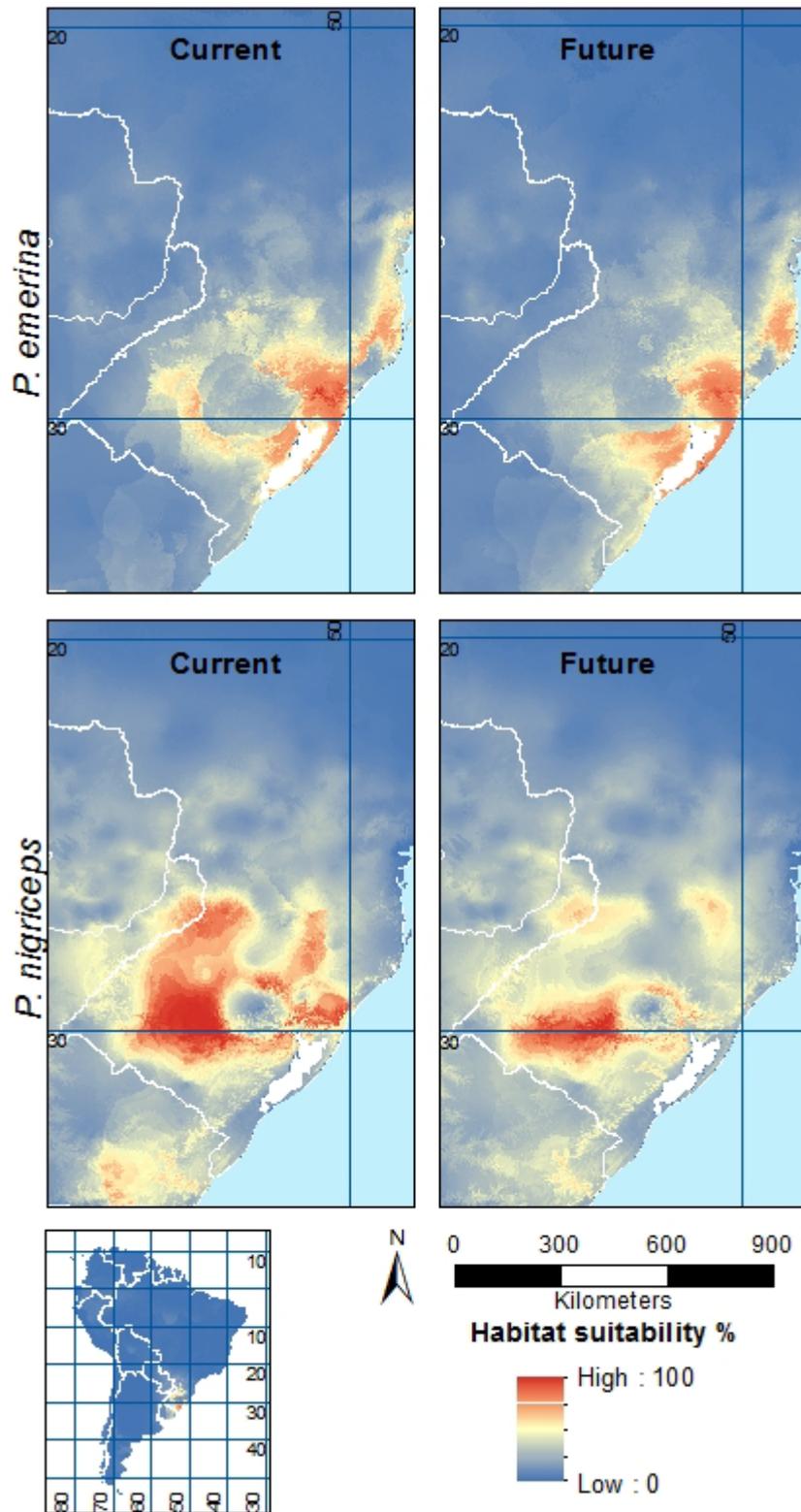
311



312

313 **Fig. 7.** Área de distribuição geográfica potencial no clima atual e futuro para *P. droryana* e *P. remota*.

314

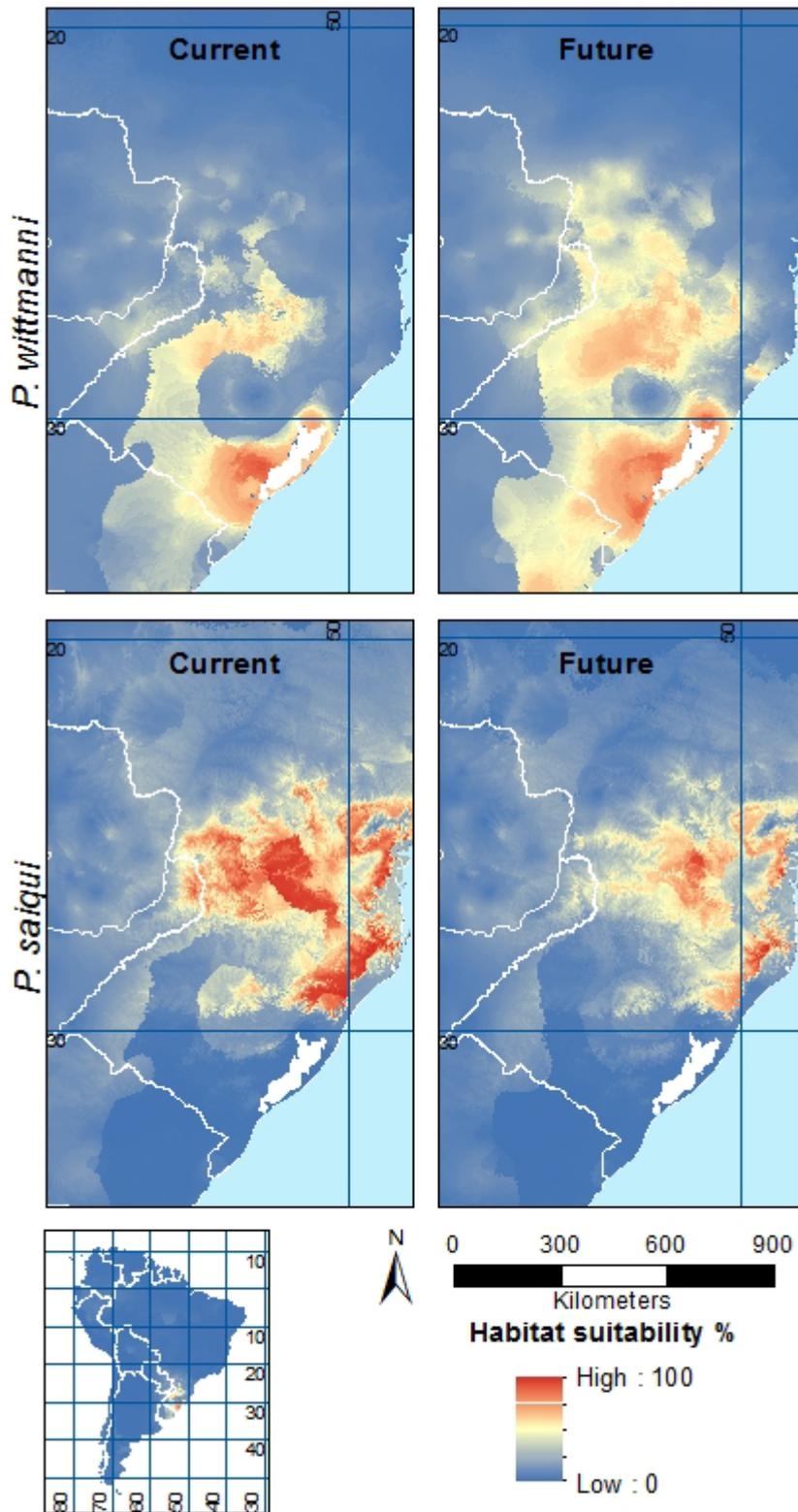


315

316 **Fig. 8.** Área de distribuição geográfica potencial no clima atual e futuro para *P. emerina* e *P. nigriceps*.

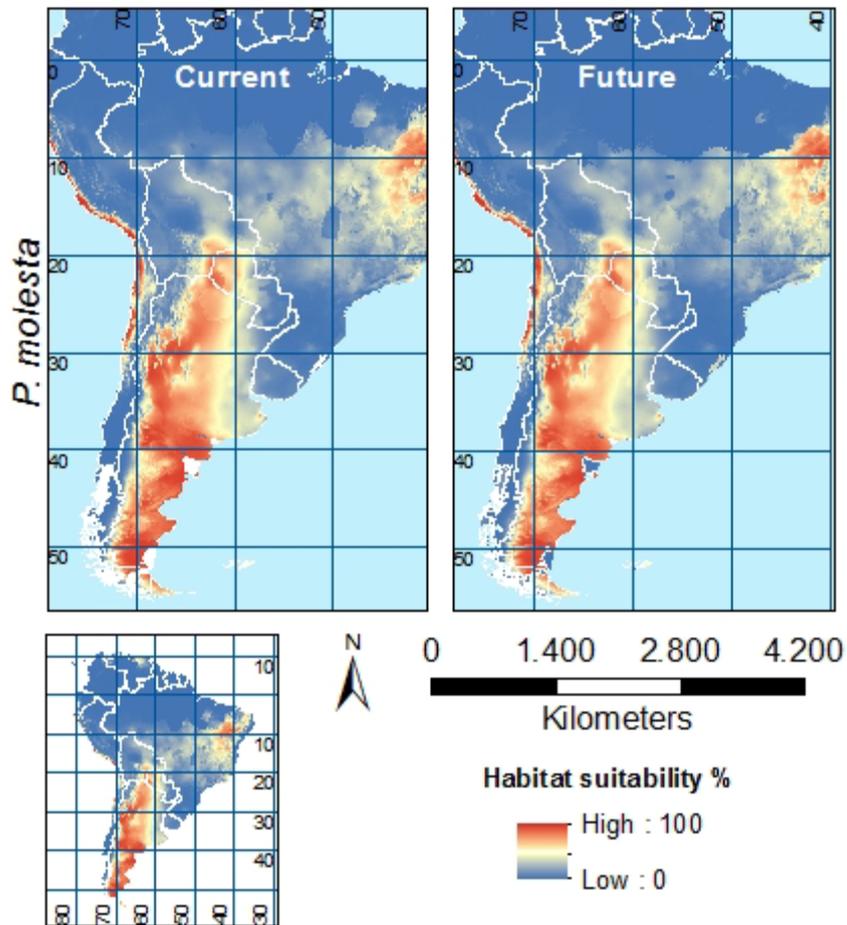
317

318



319  
320

**Fig. 9.** Área de distribuição geográfica potencial no clima atual e futuro para *P. wittmanni* e *P. saiqui*.



321  
 322 **Fig. 10.** Área de distribuição geográfica potencial no clima atual e futuro para *P. molesta*.  
 323

#### 324 **4. Discussão**

##### 325 **4.1 Importância das variáveis climáticas**

326 Todas as espécies de *Plebeia* estudadas entram em diapausa reprodutiva na região  
 327 subtropical durante os meses mais frios (Santos et al., 2014). Assim, caso a temperatura nos  
 328 meses mais frios aumente significativamente até 2070 será provável que todas essas espécies  
 329 de *Plebeia* não entrem mais em diapausa reprodutiva durante o inverno. Quando se compara  
 330 as temperaturas nas quais essas espécies encontram-se em diapausa (Santos *et al.*, 2014) com  
 331 os dados futuros modelados para as mesmas, é possível inferir que, de fato, haverá grandes  
 332 chances desse comportamento ser alterado nas espécies estudadas. Um estudo analisando a  
 333 taxa de construção de células de cria e de oviposição em *P. droryana* sob cenário futuro  
 334 encontrou que um aumento de 3°C (10,1°C para 13,4°C, mediana) será suficiente para que

335 36% de sua população na região subtropical deixe de entrar em diapausa reprodutiva no  
336 inverno (Santos *et al.*, 2015). Isso parece ser o caso para as outras espécies de *Plebeia*, aqui  
337 analisadas, embora isso precise ser melhor investigado em outros estudos.

338 A precipitação projetada no futuro aumentará na área de ocorrência de todas as  
339 espécies. Caso o aumento da precipitação aconteça de forma bem distribuída ao longo do  
340 tempo, poderá influenciar negativamente a atividade de voo das abelhas (Hilário *et al.*, 2012;  
341 Pick e Blochtein, 2002a). Porém, poderá ter seu efeito amenizado caso a precipitação aconteça  
342 de forma concentrada. No caso de *P. molesta*, que apresenta uma pequena precipitação anual,  
343 é possível deduzir que o aumento esperado no futuro será pouco expressivo se for  
344 considerado que ela ocorre naturalmente numa região árida e semiárida.

345

#### 346 **4.2 Distribuição geográfica potencial das espécies**

347 Sobre a ocorrência das espécies estudadas, em que se supunha inicialmente a restrição  
348 à região de clima subtropical, foram obtidos registros de *P. droryana* extrapolando ao norte o  
349 limite dessa região. Ainda assim, a distribuição dessa espécie foi prioritariamente dentro da  
350 região subtropical. Já para *P. molesta*, o resultado demonstrou uma distribuição geográfica  
351 potencial que extrapolou os limites da região subtropical em direção ao sul, embora todos os  
352 registros obtidos estivessem dentro dessa região. Esta análise chama atenção visto que o  
353 número de pontos de ocorrência obtidos foi baixo e não abrangeu a maior parte da área  
354 provável de ocorrência apontada pelo modelo. *Plebeia molesta* tem sua ocorrência  
355 relacionada à paisagens e clima relativamente homogêneos, como é o caso da região centro-  
356 leste da Argentina, caracterizada por uma extensa planície de campos (Soriano *et al.*, 1991)  
357 variando à estepe de clima árido ou semi-árido (Peel *et al.*, 2007).

358 *P. droryana* e *P. remota* demonstram um provável deslocamento em direção leste,  
359 com redução de área, saindo do interior e concentrando a maior probabilidade de ocorrência  
360 no litoral do Brasil. Essa região é justamente onde está a maior concentração demográfica do

361 país, fato que desperta atenção pela possível pressão adicional na adaptação das espécies. *P.*  
362 *droryana*, *P. remota*, *P. saiqui* e parcialmente *P. emerina* terão ocorrência ainda mais restrita à  
363 Mata Atlântica. Essas espécies se inserem no contexto deste bioma, que é um dos mais  
364 ameaçados do mundo (Galindo-Leal et al., 2005), habitat de diversas espécies em extinção e  
365 um dos *hotspots* de biodiversidade mais importantes (Myers et al., 2000). *P. wittmanni* terá  
366 aumento de área em mais de 55%, porém, sabe-se que a espécie nidifica nas fendas rochas e a  
367 sua distribuição geográfica está intimamente relacionada com a presença de rocha granítica  
368 (Wittmann, 1989).

369

#### 370 **4.3 Implicações para polinização**

371 A polinização por abelhas é considerada uma função ecológica regulatória essencial  
372 para a manutenção da biodiversidade em áreas naturais e, além disso, desempenha um papel  
373 relevante economicamente (Costanza et al., 1997). Os resultados deste estudo demonstram a  
374 probabilidade de alteração de habitat para as espécies de *Plebeia*, repercutindo em  
375 implicações ecológicas e econômicas. No caso de *P. emerina*, sabe-se que essa abelha aumenta  
376 a produtividade de canola, sendo naturalmente presente na região do cultivo e apontada  
377 como potencial polinizadora dessa cultura (Witter et al., 2015). Foi predito, aqui, que *P.*  
378 *emerina* terá um aumento de área no futuro (2,54%), portanto, possibilitando a manutenção  
379 da cultura na sua região de ocorrência.

380 *Plebeia wittmanni* teve a maior porcentagem de aumento de área entre as espécies  
381 estudadas (55%). Isto pode ter implicações positivas para a conservação da espécie e ao  
382 mesmo tempo ser importante para plantas nativas ou cultivadas que ela poliniza. Entretanto,  
383 existe um fator limitante para a sua adaptação que é o habito de nidificar nas fendas das  
384 rochas graníticas (Wittmann, 1989). Assim, embora a modelagem climática indique aumento  
385 para essa espécie, não está claro se *P. wittmanni*, de fato, terá condições de expandir a sua  
386 área de ocorrência por falta de substratos adequados para estabelecer seus ninhos. Por outro

387 lado, *P. nigriceps* mostrou uma redução de área em mais de 60%. Isso pode significar uma  
388 redução drástica na transferência de grãos de pólen para as espécies de plantas visitadas por  
389 essa abelha. Para aquelas culturas mantidas em estufas e que também contam com a  
390 polinização de *P. nigriceps*, como o morango (Witter et al., 2012), as consequências podem  
391 não ser tão negativas mas dependerão da criação e manejo de colmeias.

392

## 393 **5. Conclusões**

394 Este estudo demonstrou alta probabilidade de alteração na distribuição geográfica de  
395 sete espécies de *Plebeia* no cenário futuro de mudanças climáticas. As mudanças climáticas  
396 previstas poderão afetar a diapausa reprodutiva das espécies de *Plebeia*, causando a  
397 interrupção desse comportamento regulatório. Em adição, o aumento da precipitação poderá  
398 influenciar de modo negativo a atividade de forrageamento. A alteração do habitat para essas  
399 espécies poderá afetar o serviço de polinização de plantas nativas e culturas agrícolas, com  
400 implicações ecológicas e também econômicas imprevisíveis.

401

402 **6. Agradecimentos**

403 Agradeço aos colegas do laboratório de entomologia do MCT/PUCRS e aos alunos do Programa  
404 de Pós-Graduação em Zoologia da PUCRS. Agradeço aos seguintes pesquisadores e suas  
405 instituições pela colaboração no levantamento de dados sobre as abelhas: Gabriel Augusto  
406 Rodrigues de Melo (UFPR), Marcelo Teixeira Tavares (UFES), Regina Célia Botequio de Moraes  
407 (ESALQ/USP), Sinval Silveira Neto (ESALQ/USP), Evandson José dos Anjos Silva (UNEMAT),  
408 Denise A.Alves (CEPANN), Silvia Helena Sofia (MZUEL), Kelli dos Santos Ramos (MZUSP), Favízia  
409 Freitas de Oliveira (UFBA) e Sidia Witter (FZB). Agradeço também à Coordenação de  
410 Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas (CKH, RH,  
411 CFS).

412

413

414

415

416



418  
419 **Fig. 1A.** Região subtropical da América do Sul, Mata Atlântica e os pontos de ocorrência de  
420 todas as espécies.  
421

422 **8. Referências**

- 423 Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., Klein, A.M., 2009. How much does agriculture  
424 depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Ann. Bot.*  
425 103, 1579–1588. doi:10.1093/aob/mcp076
- 426 Akçakaya, H.R., Butchart, S.H.M., Watson, J.E.M., Pearson, R.G., 2014. Preventing species  
427 extinctions resulting from climate change. *Nat. Clim. Change* 4, 1048–1049.  
428 doi:10.1038/nclimate2455
- 429 Amaral, S., Costa, C.B., Arasato, L.S., Ximenes, A. de C., Rennó, C.D., 2013. AMBDATA: Variáveis  
430 ambientais para Modelos de Distribuição de Espécies (MDEs), in: *Anais XVI Simpósio*  
431 *Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. INPE, Foz do Iguaçu, PR, pp. 6930–6937.
- 432 Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield,  
433 J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H.,  
434 Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D., Whittaker, J.B., 2002. Herbivory  
435 in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect  
436 herbivores. *Glob. Change Biol.* 8, 1–16. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x
- 437 Bálint, M., Domisch, S., Engelhardt, C.H.M., Haase, P., Lehrian, S., Sauer, J., Theissinger, K.,  
438 Pauls, S.U., Nowak, C., 2011. Cryptic biodiversity loss linked to global climate change.  
439 *Nat. Clim. Change* 1, 313–318. doi:10.1038/nclimate1191
- 440 Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G.O.U., Swartz, B., Quental, T.B., Marshall, C.,  
441 McGuire, J.L., Lindsey, E.L., Maguire, K.C., Mersey, B., Ferrer, E.A., 2011. Has the  
442 Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471, 51–57.  
443 doi:10.1038/nature09678
- 444 Brown, M.J.F., Paxton, R.J., 2009. The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie*  
445 40, 410–416. doi:10.1051/apido/2009019

446 Camargo, J.M.F. de, Pedro, S.R. de M., 1992. Systematics, phylogeny and biogeography of the  
447 Meliponinae (Hymenoptera, Apidae): a mini-review. *Apidologie* 23, 509–522.  
448 doi:10.1051/apido:19920603

449 Camargo, J.M.F. de, Pedro, S.R. de M., 2013. Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the  
450 Neotropical Region - online version [WWW Document]. URL <http://moure.cria.org.br/>  
451 (accessed 10.12.13).

452 Chatterjee, S., Hadi, A.S., 2006. Regression analysis by example. Wiley-Interscience, Hoboken,  
453 N.J.

454 Costanza, R., Arge, R. d', de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem,  
455 S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value  
456 of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.  
457 doi:10.1038/387253a0

458 Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J.R.G., Gruber,  
459 B., Lafourcade, B., Leitão, P.J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P.E., Reineking,  
460 B., Schröder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D., Lautenbach, S., 2012. Collinearity: a review  
461 of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance.  
462 *Ecography* 36, 27–46. doi:10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x

463 Dorneles, L.L., Zillikens, A., Steiner, J., Padilha, M.T.S., 2013. Pollination biology of *Euterpe*  
464 *edulis* Martius (Arecaceae) and association with social bees (Apidae: Apini) in an  
465 agroforestry system on Santa Catarina Island. *Iheringia - Ser. Bot.* 68, 47–57.

466 Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation  
467 of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib.* 17, 43–57. doi:10.1111/j.1472-  
468 4642.2010.00725.x

469 Galindo-Leal, C., Câmara, I. de G., Lamas, E.R., 2005. Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e  
470 perspectivas. Fundação SOS Mata Atlântica ; Conservação Internacional, São Paulo;  
471 Belo Horizonte.

472 Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., Vaissière, B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability  
473 of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68, 810–821.  
474 doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014

475 Gent, P.R., Danabasoglu, G., Donner, L.J., Holland, M.M., Hunke, E.C., Jayne, S.R., Lawrence,  
476 D.M., Neale, R.B., Rasch, P.J., Vertenstein, M., Worley, P.H., Yang, Z.-L., Zhang, M.,  
477 2011. The Community Climate System Model Version 4. *J. Clim.* 24, 4973–4991.  
478 doi:10.1175/2011JCLI4083.1

479 Geyer, J., Kiefer, I., Kreft, S., Chavez, V., Salafsky, N., Jeltsch, F., Ibisch, P.L., 2011. Clasificación  
480 de Estreses Inducidos por el Cambio Climático en la Diversidad Biológica. *Conserv. Biol.*  
481 25, 708–715. doi:10.1111/j.1523-1739.2011.01676.x

482 Giannini, T.C., Acosta, A.L., Garófalo, C.A., Saraiva, A.M., Alves-dos-Santos, I., Imperatriz-  
483 Fonseca, V.L., 2012. Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to  
484 climate change in Brazil. *Ecol. Model.* 244, 127–131.  
485 doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.06.035

486 Hannah, L., Ikegami, M., Hole, D.G., Seo, C., Butchart, S.H.M., Peterson, A.T., Roehrdanz, P.R.,  
487 2013. Global Climate Change Adaptation Priorities for Biodiversity and Food Security.  
488 *PLoS ONE* 8, e72590. doi:10.1371/journal.pone.0072590

489 Heard, T.A., 1999. The role of stingless bees in crop pollination. *Annu. Rev. Entomol.* 44, 183–  
490 206. doi:10.1146/annurev.ento.44.1.183

491 Hegland, S.J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A.-L., Totland, Ø., 2009. How does climate  
492 warming affect plant-pollinator interactions? *Ecol. Lett.* 12, 184–195.  
493 doi:10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x

494 Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution  
495 interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25, 1965–1978.  
496 doi:10.1002/joc.1276

497 Hilário, S.D., Ribeiro, M. de F., Imperatriz-Fonseca, V.L., 2012. Can climate shape flight activity  
498 patterns of *Plebeia remota* Hymenoptera, Apidae)? *Iheringia Sér. Zool.* 102, 269–276.  
499 doi:10.1590/S0073-47212012000300004

500 IBGE, 2015. Levantamento Sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e  
501 acompanhamento das safras agrícolas no ano civil [WWW Document]. Inst. Bras.  
502 Geogr. E Estat. URL  
503 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/> (accessed  
504 6.15.15).

505 IGM, 1989. Aptitud del Suelo para la agricultura y uso de los recursos naturales [WWW  
506 Document]. Asoc. Argent. Cienc. Suelo. URL  
507 [http://www.suelos.org.ar/adjuntos/uso\\_suelo\\_para\\_agricultura.jpg](http://www.suelos.org.ar/adjuntos/uso_suelo_para_agricultura.jpg) (accessed  
508 6.15.15).

509 IPCC, I.P. on C.C., 2013. IPCC Working Group I assessment report, Climate Change 2013: the  
510 Physical Science Basis.

511 IUCN, T.W.C.U., 2009. Wildlife in a changing world: an analysis of the 2008 IUCN red list of  
512 threatened species. IUCN ; Lynx Edicions, Gland, Switzerland : Barcelona, Spain.

513 Keith, D.A., Mahony, M., Hines, H., Elith, J., Regan, T.J., Baumgartner, J.B., Hunter, D., Heard,  
514 G.W., Mitchell, N.J., Parris, K.M., Penman, T., Scheele, B., Simpson, C.C., Tingley, R.,  
515 Tracy, C.R., West, M., Akçakaya, H.R., 2014. Detecting extinction risk from climate  
516 change by IUCN Red List criteria. *Conserv. Biol. J. Soc. Conserv. Biol.* 28, 810–819.  
517 doi:10.1111/cobi.12234

518 Klein, A.-M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C.,  
519 Tschardtke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops.  
520 *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 274, 303–313. doi:10.1098/rspb.2006.3721

- 521 Kuhlmann, M., Guo, D., Veldtman, R., Donaldson, J., 2012. Consequences of warming up a  
522 hotspot: species range shifts within a centre of bee diversity. *Divers. Distrib.* 18, 885–  
523 897. doi:10.1111/j.1472-4642.2011.00877.x
- 524 Lacerda, F., Nobre, P., 2010. Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil.  
525 *Rev. Bras. Geogr. Física* 3, 14–17. doi:10.5935/rbgf.v3i1.99
- 526 Marengo, J.A., 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:  
527 caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território  
528 brasileiro ao longo do século XXI, Biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente,  
529 Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF.
- 530 Michener, C.D., 1979. Biogeography of the Bees. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 66, 277–347.  
531 doi:10.2307/2398833
- 532 Michener, C.D., 2007. *The bees of the world*, 2nd ed. ed. Johns Hopkins University Press,  
533 Baltimore.
- 534 Michener, C.D., 2013. The Meliponini, in: Vit, P., Pedro, S.R.M., Roubik, D. (Eds.), *Pot-Honey*.  
535 Springer New York, pp. 3–17.
- 536 Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity  
537 hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. doi:10.1038/35002501
- 538 Naimi, B., Hamm, N.A.S., Groen, T.A., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G., 2013. Where is positional  
539 uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography* 37, 191–203.  
540 doi:10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x
- 541 Nogueira-Neto, P., 1997. *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. Edição Nogueirapis,  
542 São Paulo.
- 543 Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by  
544 animals? *Oikos* 120, 321–326. doi:10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

545 Pearson, R.G., Dawson, T.P., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution  
546 of species: are bioclimate envelope models useful? *Glob. Ecol. Biogeogr.* 12, 361–371.  
547 doi:10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x

548 Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger  
549 climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11, 1633–1644. doi:10.5194/hess-11-1633-  
550 2007

551 Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species  
552 geographic distributions. *Ecol. Model.* 190, 231–259.  
553 doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

554 Pick, R.A., Blochtein, B., 2002a. Atividades de vôo de *Plebeia saiqui* (Holmberg) (Hymenoptera,  
555 Apidae, Meliponini) durante o período de postura da rainha e em diapausa. *Rev. Bras.*  
556 *Zool.* 19, 827–839. doi:10.1590/S0101-81752002000300021

557 Pick, R.A., Blochtein, B., 2002b. Collection activities and floral origin of the stored pollen in  
558 colonies of *Plebeia saiqui* (Holmberg) (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) in south  
559 Brazil. *Rev. Bras. Zool.* 19, 289–300. doi:10.1590/S0101-81752002000100025

560 Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global  
561 pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25, 345–353.  
562 doi:10.1016/j.tree.2010.01.007

563 Roubik, D.W., 1989. *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press,  
564 Cambridge.

565 Santos CF, Nunes-Silva P, Halinski R, Blochtein B (2014) Diapause in stingless bees.  
566 *Sociobiology*, 61, 369–377.

567 Santos, C.F.D., Acosta, A.L., Nunes-Silva, P., Saraiva, A.M., Blochtein, B., 2015. Climate  
568 Warming May Threaten Reproductive Diapause of a Highly Eusocial Bee. *Environ.*  
569 *Entomol.* nvv064. doi:10.1093/ee/nvv064

570 Segurado, P., Araújo, M.B., Kunin, W.E., 2006. Consequences of spatial autocorrelation for  
571 niche-based models. *J. Appl. Ecol.* 43, 433–444. doi:10.1111/j.1365-2664.2006.01162.x

572 Siqueira, T., 2009. Mudanças Climáticas E Seus Efeitos Sobre a Biodiversidade: Um Panorama  
573 Sobre As Atividades De Pesquisa. *Megadiversidade* 5 (1-2).

574 Slaa, E.J., Chaves, L.A.S., Malagodi-Braga, K.S., Hofstede, F.E., 2006. Stingless bees in applied  
575 pollination: practice and perspectives. *Apidologie* 37, 23. doi:10.1051/apido:2006022

576 Soriano, A., Leon, R.J.C., Sala, O.E., Lavado, R.S., Deregibus, V.A., Cahuepe, M.A., Scaglia, O.A.,  
577 Velazquez, C.A., Lemcoff, J.H., 1991. Rio de la Plata grasslands. *Rio de la Plata*  
578 *grasslands*. 367–407.

579 Stanton, J.C., Shoemaker, K.T., Pearson, R.G., Akçakaya, H.R., 2015. Warning times for species  
580 extinctions due to climate change. *Glob. Change Biol.* 21, 1066–1077.  
581 doi:10.1111/gcb.12721

582 Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C.,  
583 Erasmus, B.F.N., de Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van  
584 Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A.,  
585 Phillips, O.L., Williams, S.E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427,  
586 145–148. doi:10.1038/nature02121

587 Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-  
588 Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E., Edmonds, J.A., 2011. RCP4.5: a pathway for  
589 stabilization of radiative forcing by 2100. *Clim. Change* 109, 77–94.  
590 doi:10.1007/s10584-011-0151-4

591 Tschoeke, P.H., Oliveira, E.E., Dalcin, M.S., Silveira-Tschoeke, M.C.A.C., Santos, G.R., 2015.  
592 Diversity and flower-visiting rates of bee species as potential pollinators of melon  
593 (*Cucumis melo* L.) in the Brazilian Cerrado. *Sci. Hortic.* 186, 207–216.  
594 doi:10.1016/j.scienta.2015.02.027

595 Warren, R.J., Bradford, M.A., 2014. Mutualism fails when climate response differs between  
596 interacting species. *Glob. Change Biol.* 20, 466–474. doi:10.1111/gcb.12407

597 Watson, J.E.M., Iwamura, T., Butt, N., 2013. Mapping vulnerability and conservation  
598 adaptation strategies under climate change. *Nat. Clim. Change* advance online  
599 publication. doi:10.1038/nclimate2007

600 Watson, J.E.M., 2014. Human Responses to Climate Change will Seriously Impact Biodiversity  
601 Conservation: It's Time We Start Planning for Them. *Conserv. Lett.* 7, 1–2.  
602 doi:10.1111/conl.12083

603 Williams, S.E., Shoo, L.P., Isaac, J.L., Hoffmann, A.A., Langham, G., 2008. Towards an Integrated  
604 Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *PLoS Biol* 6,  
605 e325. doi:10.1371/journal.pbio.0060325

606 Witter, S., Nunes-Silva, P., Lisboa, B.B., Tirelli, F.P., Sattler, A., Hilgert-Moreira, S.B., Blochtein,  
607 B., 2015. Stingless Bees as Alternative Pollinators of Canola. *J. Econ. Entomol.* 108,  
608 880–886. doi:10.1093/jee/tov096

609 Witter, S., Radin, B., Lisboa, B.B., Teixeira, J.S.G., Blochtein, B., Imperatriz-Fonseca, V.L., 2012.  
610 Performance of strawberry cultivars subjected to different types of pollination in a  
611 greenhouse. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 47, 58–65. doi:10.1590/S0100-  
612 204X2012000100009

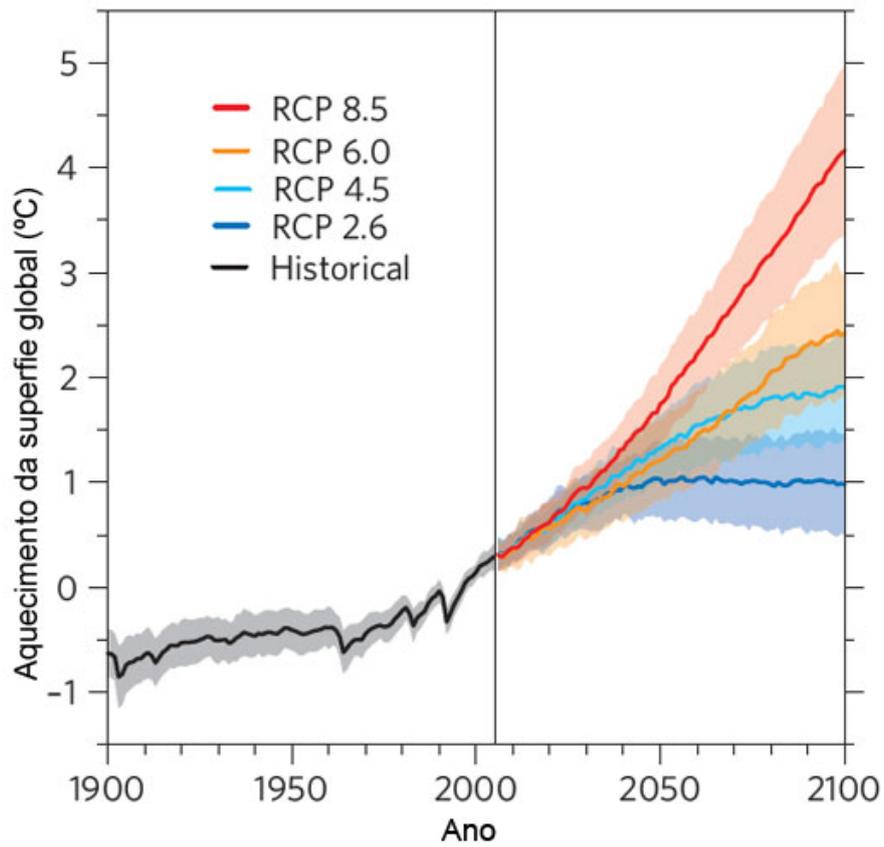
613 Wittmann, D., 1989. Nest Architecture, Nest Site Preferences and Distribution of *Plebeia*  
614 *wittmanni* (Moure & Camargo, 1989) in Rio Grande do Sul, Brazil (Apidae:  
615 Meliponinae). *Stud. Neotropical Fauna Environ.* 24, 17–23.  
616 doi:10.1080/01650528909360771

617

## APÊNDICE

**Tabela 1A** Resumo dos rumos representativos de concentração, "representative concentration pathways" (RCP). Adaptado de Van Vuuren (2011). van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change* 109, 5–31. doi:10.1007/s10584-011-0148-z

|        | Descrição  | Publicação   |
|--------|--|--|
| RCP8.5 | Crescente trajetória de força radiativa conduzindo para 8,5 W/m <sup>2</sup> (~1370 CO <sub>2</sub> -eq) por volta de 2100           | Riahi K., Grübler A., Nakicenovic N., 2007. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. <i>Technol Forecast Soc Chang</i> 74:887–935  |
| RCP6   | Estabilização sem ultrapassar a trajetória para 6 W/m <sup>2</sup> (~850 CO <sub>2</sub> -eq) com estabilização depois de 2100       | Fujino J., Nair R., Kainuma M., Masui T., Matsuoka Y., 2006. Multigas mitigation analysis on stabilization scenarios using aim global model. <i>The Energy Journal Special issue</i> #3:343–354<br>Hijioka Y., Matsuoka Y., Nishimoto H., Masui T., Kainuma M., 2008. Global GHG emission scenarios under GHG concentration stabilization targets. <i>J Glob Environ Eng</i> 13:97–108   |
| RCP4.5 | Estabilização sem ultrapassar a trajetória para 4,5 W/m <sup>2</sup> (~650 CO <sub>2</sub> -eq) com estabilização depois de 2100     | Clarke L.E., Edmonds J.A., Jacoby H.D., Pitcher H., Reilly J.M., Richels R., 2007. Scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations. Sub-report 2.1a of Synthesis and Assessment Product 2.1. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington DC<br>Smith S.J., Wigley T.M.L., 2006. MultiGas forcing stabilization with minicam. <i>The Energy Journal Special issue</i> #3:373–392<br>Wise M., Calvin K., Thomson A., Clarke L., Bond-Lamberty B., Sands R., Smith S.J., Janetos A., Edmonds J., 2009. Implications of limiting CO <sub>2</sub> concentrations for land use and energy. <i>Science</i> 324:1183–1186 |
| RCP2.6 | Pico na força radiativa em ~3 W/m <sup>2</sup> (~490 CO <sub>2</sub> -eq) antes de 2100 e então declinará para 2,6 por volta de 2100 | Van Vuuren D.P., Den Elzen M.G.J., Lucas P.L., Eickhout B., Strengers B.J., Van Ruijven B., Wonink S., Van Houdt R., 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. <i>Clim Chang</i> 81:119–159<br>Van Vuuren D.P., Den Elzen M.G.J., Lucas P.L., Eickhout B., Strengers B.J., Van Ruijven B., Wonink S., Van Houdt R., 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. <i>Clim Chang</i> 81:119–159   |



**Figura 1A** Rumos representativos de concentração (RCP) que constituem cada cenário. Adaptado de Knutti e Sedláček (2013). Knutti, R., Sedláček, J., 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nat. Clim. Change* 3, 369–373. doi:10.1038/nclimate1716

**Tabela 2A** Variáveis utilizadas para cada espécie após a exclusão das que tiveram problema de colinearidade, com os resultados do teste de colinearidade.

| <b>Specie</b>            | <b>Linear correlation coefficients</b>                          | <b>Remained Variables</b> | <b>VIF</b> |
|--------------------------|---|---------------------------|------------|
| <i>Plebeia droryana</i>  | min (bio_18 ~ bio_6): 0.0398<br>max (bio_18 ~ bio_3): 0.7588    | bio_3                     | 4.567890   |
|                          |   | bio_6                     | 1.966489   |
|                          |   | bio_7                     | 1.908558   |
|                          |   | bio_9                     | 2.265420   |
|                          |   | bio_12                    | 2.158774   |
|                          |   | bio_18                    | 6.484569   |
| <i>Plebeia emerina</i>   | min (bio_15 ~ bio_3): 0.0384<br>max (bio_18 ~ bio_3): 0.5436    | bio_3                     | 3.153530   |
|                          |   | bio_7                     | 2.742088   |
|                          |   | bio_8                     | 2.851844   |
|                          |   | bio_9                     | 2.382875   |
|                          |   | bio_15                    | 1.662083   |
|                          |   | bio_18                    | 3.739413   |
| <i>Plebeia molesta</i>   | min (bio_19 ~ bio_16): 0.2520<br>max (bio_19 ~ bio_16): 0.2520  | bio_16                    | 1.067848   |
|                          |   | bio_19                    | 1.067848   |
| <i>Plebeia nigriceps</i> | min (bio_16 ~ bio_9): 0.0573<br>max (bio_15 ~ bio_10): 0.3477   | bio_9                     | 2.609006   |
|                          |   | bio_10                    | 1.949482   |
|                          |   | bio_15                    | 2.982440   |
|                          |   | bio_16                    | 1.236548   |
| <i>Plebeia remota</i>    | min (bio_10 ~ bio_9): 0.0105<br>max (bio_12 ~ bio_9): 0.5703    | bio_3                     | 2.256065   |
|                          |   | bio_7                     | 1.929668   |
|                          |   | bio_9                     | 2.358388   |
|                          |   | bio_10                    | 3.340517   |
|                          |   | bio_12                    | 5.407792   |
|                          |   | bio_18                    | 2.547496   |
| <i>Plebeia saiqui</i>    | min (bio_18 ~ bio_12): -0.1128<br>max (bio_18 ~ bio_16): 0.8692 | bio_9                     | 3.569176   |
|                          |   | bio_10                    | 3.349079   |
|                          |   | bio_12                    | 2.074571   |
|                          |   | bio_16                    | 7.445410   |
|                          |   | bio_18                    | 9.701365   |
|                          |   | bio_7                     | 1.208422   |
| <i>Plebeia wittmanni</i> | min (bio_15 ~ bio_7): 0.1266<br>max (bio_15 ~ bio_11): 0.6365   | bio_9                     | 1.488916   |
|                          |   | bio_11                    | 2.757263   |
|                          |   | bio_15                    | 3.567060   |
|                          |   | bio_19                    | 5.580774   |

### **Códigos R utilizados na geração dos gráficos.**

```
library(ggplot2)
tabela.pt = read.csv("pontos_extract.csv")
Ano <- as.factor(tabela.pt$year)
qplot(bio_1, bio_12, data = tabela.pt) +
  geom_smooth(method="loess",na.rm=FALSE) +
  geom_point(aes(colour=Ano)) +
  ylab("Precipitação anual acumulada (mm)") +
  xlab("Temperatura média anual (°C)") +
  theme(axis.title.x = element_text(vjust=-0.5, size = rel(1.75))) +
  theme(axis.text=element_text(colour="black", size=15)) +
  theme(axis.title.x = element_text(vjust=-0.5, size = rel(1.75))) +
  theme(axis.title.y = element_text(vjust=1.75, size = rel(1.75))) +
  scale_colour_manual(values = c("black","red", "green"))
tabela.co = read.csv("var_contribution.csv")
legenda.x <- element_text(face = "italic", color = "#525252", size = 13)
legenda.y <- element_text(face = NULL, color = "#525252", size = 10)
legenda.tx <- element_text(colour="black", vjust=0.5, size = rel(1.75))
legenda.ty <- element_text(colour="black", vjust=1.0, size = rel(1.75))
ggplot(tabela.co, aes(species, bio_var)) +
  geom_tile(aes(fill = Porcentagem), color = "#d9d9d9") +
  #scale_fill_gradient(low = "white", high = "steelblue") +
  scale_fill_gradient2(low = "#fc9272", high = "#67000d") +
  labs(title = NULL, x = "Espécie", y = "Variável") +
  theme(axis.text.x = legenda.x) +
  theme(axis.text.y = legenda.y) +
  theme(axis.title.x = legenda.tx) +
  theme(axis.title.y = legenda.ty)
```

### **Códigos R utilizados no teste de colinearidade.**

```
library(usdm)
data_set <- read.csv("p_wittmanni_extract.csv", header=TRUE)
vifx<-(data_set)
vifstep(data_set,th=10)
pairs(data_set)
```

## **ANEXO**

### **Normas de publicação**

#### **Agriculture, Ecosystems and Environment**

##### Guide for Authors

##### Introduction

Agriculture, Ecosystems and Environment deals with the interface between agriculture and the environment. Preference is given to papers that develop and apply interdisciplinarity, bridge scientific disciplines, integrate scientific analyses derived from different perspectives of agroecosystem sustainability, and are put in as wide an international or comparative context as possible. It is addressed to scientists in agriculture, food production, agroforestry, ecology, environment, earth and resource management, and administrators and policy-makers in these fields.

The journal regularly covers topics such as: ecology of agricultural production methods; influence of agricultural production methods on the environment, including soil, water and air quality, and use of energy and non-renewable resources; agroecosystem management, functioning, health, and complexity, including agro-biodiversity and response of multi-species ecosystems to environmental stress; the effect of pollutants on agriculture; agro-landscape values and changes, landscape indicators and sustainable land use; farming system changes and dynamics; integrated pest management and crop protection; and problems of agroecosystems from a biological, physical, economic, and socio-cultural standpoint.

##### Types of papers

Types of papers 1. Original papers (Regular Papers) should report the results of original research. The material should not have been published previously elsewhere, except in a preliminary form.

2. Reviews should cover a part of the subject of active current interest. They may be submitted or invited.

3. A Short Communication is a concise, but complete, description of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Short Communications should be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper. They should not occupy more than 6 printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, etc.).

4. In the section 'Comments', short commentaries on material published in the journal are included, together with replies from author(s).

5. The section 'News and Views' offers a forum for discussion of emerging or controversial ideas, or new approaches and concepts, in all areas covered by the journal. Contributions to this section should not occupy more than 2 printed pages (about 4 manuscript pages).

##### Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

##### Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: [http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/286/p/7923](http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923).

#### Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

#### Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

#### Article Transfer Service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable for another journal, you may be asked to consider transferring your article to the alternative journal of your choice. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. More information about this can be found here: <http://www.elsevier.com/authors/article-transfer-service>.

#### Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author

confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

#### Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <http://www.elsevier.com/copyright>.

#### Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

#### Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

#### Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

##### Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

##### Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<http://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

#### Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

#### Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is USD 3600, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

#### Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and begins from the publication date of the issue your article appears in.

This journal has an embargo period of 24 months.

#### Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

#### Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

#### Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of five potential referees. The suggested referees should not be part of your or your co-authors' institutions, nor should you or your co-authors have collaborated with them in the past three years. Potential referees should be experts in your research field and from several countries. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

#### Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Manuscripts should be prepared with numbered lines, with wide margins and double line spacing throughout, i.e. also for abstracts, footnotes and references. Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc. should be numbered. However, in the text no reference should be made to page numbers; if necessary, one may refer to sections.

#### Article structure

##### Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

##### Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

##### Results

Results should be clear and concise.

##### Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

##### Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

## Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

## Essential title page information

- Title. Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- Author names and affiliations. Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

## Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

## Optional graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the paper in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the paper. Graphical abstracts should be submitted with a caption. Supply captions separately, not attached to the graphical abstract. A caption should comprise a brief title (not on the graphical abstract itself). Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Maximum image size: 400 × 600 pixels (h × w, recommended size 200 × 500 pixels). Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

## Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet

points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

#### Keywords

Immediately after the abstract, please provide 4-6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

#### Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

#### Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

#### Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

#### Artwork

##### Electronic artwork

##### General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

##### Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the

resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

#### Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or online only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications that can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

#### Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

#### Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules.

#### References

##### Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

### Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

### Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

### References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

### Reference management software

Most Elsevier journals have a standard template available in key reference management packages. This covers packages using the Citation Style Language, such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and also others like EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to word processing packages which are available from the above sites, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style as described in this Guide. The process of including templates in these packages is constantly ongoing. If the journal you are looking for does not have a template available yet, please see the list of sample references and citations provided in this Guide to help you format these according to the journal style.

If you manage your research with Mendeley Desktop, you can easily install the reference style for this journal by clicking the link below:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/agriculture-ecosystems-and-environment>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice. For more information about the Citation Style Language, visit <http://citationstyles.org>.

### Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown ....'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations: <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary material

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one

of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

#### Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

#### Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <http://www.elsevier.com/interactiveplots>.

#### Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required.
- For reproduction in black-and-white, please supply black-and-white versions of the figures for printing purposes.

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

#### Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because

they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal Physics Letters B):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

#### Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

#### Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

You can track your submitted article at <http://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.