



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA**

DIEGO DA SILVEIRA MARTINS

**IMPACTO DA CRISE CLIMÁTICA NA DISTRIBUIÇÃO DE *Euryades corethrus*
(BOISDUVAL, 1836), UMA BORBOLETA ENDÊMICA DOS CAMPOS SULINOS**

**PORTO ALEGRE
2020**

DIEGO DA SILVEIRA MARTINS

**IMPACTO DA CRISE CLIMÁTICA NA DISTRIBUIÇÃO DE *Euryades corethrus*
(BOISDUVAL, 1836), UMA BORBOLETA ENDÊMICA DOS CAMPOS SULINOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Biodiversidade

Orientadora: Prof. Dr. Helena Piccoli Romanowski

PORTO ALEGRE

2020

DIEGO DA SILVEIRA MARTINS

**IMPACTO DA CRISE CLIMÁTICA NA DISTRIBUIÇÃO DE *Euryades corethrus*
(BOISDUVAL, 1836), UMA BORBOLETA ENDÊMICA DOS CAMPOS SULINOS**

Aprovada em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Ana Beatriz Barros de Moraes

Dra. Flávia Pereira Tirelli

Dra. Viviane Gianluppi Ferro

Agradecimentos

Muitas vezes eu me expresso melhor escrevendo e isso faz com que eu exagere no tamanho do texto... já peço perdão se esse for o caso, mas não é sempre que se termina uma dissertação e se pode fazer um texto desses.

Quero começar agradecendo minha família. Minha mãe, meu pai e minha irmã são as pessoas que, apesar de nem sempre entenderem o meu trabalho nos últimos 8 anos, fizeram o possível para me apoiar. Para os meus pais, a educação dos filhos sempre vinha em primeiro lugar, e eles se esforçaram muito para que minha irmã e eu terminássemos os estudos. Não importa o quão longe eu chegue, vai ser graças ao esforço deles, por isso eu sou muito grato. E a minha irmã, mais nova e mais alta, eu queria agradecer por ser minha parceira na vida. Não tenho memórias da minha vida antes dela chegar no mundo. Como muitos irmãos com idades próximas, nós tivemos brigas. Apesar disso, a gente cresceu tentando cuidar um do outro quando preciso. E com todas as diferenças que temos, conseguimos dar um jeitinho de nos manter unidos. Obrigado por crescer comigo e não me deixar sozinho, Thaina.

Eu estou na UFRGS a 8 anos, e nesse tempo eu tive a oportunidade de conviver com muitas pessoas. Muitas mesmo. E uma das coisas que eu aprendi nesse tempo, foi que é muito difícil fazer algo sozinho. Minha trajetória na biologia não teria sido metade do que foi sem muitas dessas pessoas. Cíntia, Gisele e Ludy são as pessoas que mais me acolheram e mais passaram tempo ao meu lado. O fato de os professores me colocarem em um grupo com a Cíntia no primeiro semestre, em 2012/2, salvou todo o meu curso. Graças a Cíntia eu, que tinha problemas para me enturmar, conheci a Gisele e a Ludy, fiz amizades. Sem dúvida nenhuma o fato de ter amizade de vocês foi mais que fundamental para ter passado por todos os desafios que a federal colocou na nossa frente. Além delas, 2012/2 também me presenteou com: Patrícia, Luana, Filipe, Bianca, Caroline, Natiele, Stephanie, Talita, Bruno, Ricardo. Não convivemos o tanto de tempo juntos que eu gostaria, mas quero deixar registrado que o tempo que passamos juntos foi importante para mim. Outras pessoas, além dos que entraram na UFRGS comigo, mas que eu conheci pela Bio e tiveram muita importância na trajetória, algumas ainda tem. Ingridi (que eu amo de paixão), Alana, Diuliane, Vanessa, Bruna Claudia, Alvina, Aline, Kelly, Lúcio. Ao pessoal do BiMa-Lab, que me acolheu como membro de brincadeira, mas me ajudaram de verdade em muitas ocasiões, em especial a Paula Horn, Daniele Franco, Flávia Tirelle e a própria, prof Maria João. Agradeço também ao Lucas Schneider, por

todo o amor do mundo, por todo o apoio que tu me dás, por ti. E aos amigos de antes da UFRGS, Andreza e Thiago (por mais ou menos 10 anos), e Jéssica.

O laboratório de ecologia de insetos foi/é como minha casa. Eu comecei na metade de 2013, para experimentar a vida em um laboratório. Não foi por escolha ou preferência, era onde tinha a oportunidade. Não escolhi as borboletas, mas elas me escolheram. Em todo esse tempo, vi muita gente passar, vi o lab cheio e barulhento, e também praticamente vazio. Aos que eu vi passar, Lidiane, Vanessa Scalco, Nicolás, Marcelo, obrigado por me ensinarem tanto. Vanessa Pedrotti e Andressa, eu não tenho palavras para agradecer vocês duas. E não tenho palavras para descrever o quanto senti a falta de vocês nos últimos anos no lab. Aos recentes, Luan, José Ricardo, Flora, Guilherme, Riuler, Lucas e Viviane, obrigado por me aturar e tornar tudo mais leve. Juliane, Lady Carol e Ana Paula, pelas melhores conversas (fofocas) em todas as situações, pela ajuda e pelo carinho. Carla, Carlinha, Carlota, o que teria sido de mim sem tua companhia no lab? Ter passado de teu colega de iniciação científica a amigo foi uma das melhores coisas que me aconteceram. E por fim, mas não menos importante, a mulher que coordena/coordenou toda essa gente, minha orientadora, Helena. Prof., não sei se alguma vez te agradei propriamente por tudo que a senhora fez por mim. Aprendi contigo muito mais do que o trabalho com borboletas. Nesse tempo sendo seu orientado eu cresci muito como biólogo, pesquisador, mas também como pessoa. Muito, muito obrigado por ter me permitir fazer parte do lab, por me ouvir, por ter sido compreensiva e ter me ajudado nessa jornada.

Para acabar, quero agradecer a todas as minhas professoras, que foram a esmagadora maioria, e aos professores. Do ensino fundamenta, do médio e do superior. A dedicação de vocês em ensinar muda a vida de muita gente. Obrigado por tanto.

Perdão se eu esqueci alguém. Acho que é isso, tchau...

Sumário

Resumo	7
Abstract	8
Capítulo I - Introdução geral.....	9
Mudanças climáticas e insetos	9
Modelos de distribuição	10
Borboletas como modelo de estudo	11
<i>Euryades corethrus</i>	12
Ecossistemas não florestais	13
Objetivos e hipóteses.....	14
Resultados gerais.....	15
Referências.....	15
Capítulo II – Artigo a ser submetido a revista <i>Insect Conservation and Diversity</i>	22
Article title: Will climatic-driven host plant distribution contraction threaten the future of the endemic grassland butterfly <i>Euryades corethrus</i> ?	22
Abstract	22
Introduction	24
Material and Methods	29
Results	33
Discussion	36
References	42
Capítulo III - Considerações Finais	69

Resumo

As mudanças climáticas têm impacto em todos os níveis de organização da biodiversidade, em ambientes terrestres e aquáticos. Um grupo chave no funcionamento de ecossistemas são os insetos, que podem ser afetados pelas mudanças climáticas de maneira direta ou indireta, através de suas plantas hospedeiras. A borboleta *Euryades corethrus* é uma espécie endêmica dos campos do sul da América do Sul. Devido à alta destruição e conversão de habitat, a espécie tem o Rio Grande do Sul, no Brasil, como o principal local onde é encontrada atualmente. No Rio Grande do Sul ocorrem três espécies de planta indicadas como hospedeiras de *E. corethrus*: *Aristolochia fimbriata*, *Aristolochia triangularis* e *Aristolochia sessilifolia*. No entanto, *A. fimbriata* é rara e escassa e a borboleta é encontrada se alimentando apenas em *A. sessilifolia*. Este estudo buscou avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição de *E. corethrus*, incluindo suas plantas hospedeiras. Para isso, a capacidade de se alimentar de *A. triangularis* foi testada. Após isso, foram avaliados os impactos de diferentes cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e RCP 8.5 em 2050 e 2070) na distribuição da borboleta, sua (s) hospedeira (s) e a área de sobreposição de suas distribuições, utilizando modelos de distribuição de espécies. Os resultados indicam que apenas *A. sessilifolia* é utilizada como hospedeira, pelo menos no Rio Grande do Sul. Os modelos de distribuição sugerem que as mudanças climáticas não teriam um efeito direto marcado na extensão de ocorrência de *E. corethrus*, mas causariam uma contração relevante na distribuição de *A. sessilifolia*. Em razão disso, a área de sobreposição entre distribuições de borboleta e hospedeira diminuiu em todos os cenários futuros. Esses resultados indicam que as mudanças climáticas podem aumentar o risco de extinção de *E. corethrus*, já ameaçada pela perda de habitat e deficiente proteção por unidades de conservação dos campos onde ocorre. Assim, se reforça a necessidade de aumentar os esforços de conservação de ambientes de campo, e a importância de se utilizar informações de plantas hospedeiras em estudos de impactos de mudanças climáticas em insetos, e sua conservação.

Palavras chave: *Aristolochia*, conservação, *Euryades corethrus*, mudanças climáticas, Pampa.

Abstract

Climate change impacts all levels of biodiversity organization, in terrestrial and aquatic environments. A key group in the functioning of ecosystems are insects, which can be affected by climate change directly or indirectly, through their host plants. The swallowtail butterfly *Euryades corethrus* is an endemic species in the grasslands of southern South America. Due to the high level of destruction and conversion of its habitat, distribution of this butterfly is gradually being constrained to Rio Grande do Sul, Brazil. In this State, three species of plants indicated as hosts of *E. corethrus* are recorded: *Aristolochia fimbriata*, *Aristolochia triangularis*, and *Aristolochia sessilifolia*. However, *A. fimbriata* is rare and scarce, and the butterfly is only found feeding on *A. sessilifolia*. This study aimed to evaluate the effects of climate change on the distribution of *E. corethrus*, including its host plant(s). For this, the ability of the species to feed on *A. triangularis* was tested. After that, the impacts of different climate change scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5 in 2050 and 2070) on the distribution of the butterfly, its host plant (s), and the overlapping area of their distributions were evaluated, using species distribution models. The results indicated that only *A. sessilifolia* is used as a host, at least in Rio Grande do Sul. Distribution models suggested that climate change would not have a marked direct effect on the extent of occurrence of *E. corethrus*, but would cause a relevant contraction in the distribution of *A. sessilifolia*. As a result, the area of overlap between butterfly and host distributions decreased in all future scenarios. These results indicate that climate change can increase the risk of extinction of *E. corethrus*, already threatened by habitat loss and scarce conservation units in the grasslands where it occurs. Thus, the risk of extinction of *E. corethrus* must be recategorized and conservation efforts in grasslands environments should be strengthened. Results support how important it is to consider species interactions and climate change jointly, when studying the impacts of the latter upon species and in conservation planning.

Key words: *Aristolochia*, climate changes, conservation, *Euryades corethrus*, Pampa.

Capítulo I - Introdução geral

Mudanças climáticas e insetos

As mudanças climáticas provocadas pela ação humana vão muito além do aquecimento global em alguns poucos graus Celsius. Na verdade, pesquisadores que avaliam as mudanças climáticas lidam com múltiplas disciplinas. Aquecimento e aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera; aquecimento e acidificação de oceanos; aquecimento da terra e alterações nos eventos climáticos; são algumas das áreas relacionadas as mudanças climáticas (Farmer & Cook, 2013). Além disso, essas mudanças têm impactos em todos os níveis de organização da biodiversidade, de organismos a ecossistemas inteiros, terrestres e aquáticos (Scheffers *et al.*, 2016 e referências nele citadas). Esses impactos têm efeitos no bem-estar humano, que, como uma das espécies que constitui os ecossistemas, necessita de seu correto funcionamento. As mudanças climáticas podem afetar a polinização (Gianinni *et al.*, 2015), um serviço ecossistêmico mantido principalmente por insetos, e que custaria bilhões na falta desses organismos, além de impactar a produção de alimentos. Também podem aumentar a distribuição e as explosões populacionais de insetos praga (para a agricultura) (Bebber *et al.*, 2013) e vetores de doenças (Egizi *et al.*, 2015).

De fato, os insetos têm uma grande importância, não só econômica, mas também como base de redes tróficas (Cardoso *et al.*, 2020). Ainda assim, populações de insetos vêm sofrendo declínio e extinções ao longo de todo o mundo nas últimas décadas. As mudanças climáticas atuam de maneira sinérgica com as atuais ameaças aos insetos, como poluição e perda de habitat (Cardoso *et al.*, 2020). Os impactos nos insetos podem ser diretos ou indiretos, através de suas plantas hospedeiras. As mudanças climáticas podem levar a extinção de plantas hospedeiras ou um desencontro espacial entre planta e inseto, e ter um grande impacto, principalmente em espécies especialistas (Cerasoli *et al.*,

2020), ou alterar a fenologia das espécies, gerando assincronias (desencontro temporal) entre insetos e plantas hospedeiras (Cohen *et al.*, 2018). Esses eventos tem um efeito cascata, desequilibrando toda a organização de ecossistemas (Cardoso *et al.*, 2020).

Modelos de distribuição

Modelos de distribuição de espécies são ferramentas úteis para prever os efeitos das mudanças climáticas. Basicamente, o método consiste em utilizar algoritmos que relacionem dados de ocorrência de espécies (de coletas, banco de dados, museus) com variáveis ambientais (geralmente climáticas). O resultado pode ser projetado espacialmente, indicando áreas que se adequem aos requisitos ecológicos da espécie, se aproximando do nicho realizado (Guisan *et al.*, 2017). No entanto, somente o clima não define o habitat de uma espécie (Dennis, 2014). Por isso, o uso de outros dados, como dados de solo, cobertura de vegetação, e até mesmo a distribuição de outras espécies, podem tornar as predições dos modelos mais próximas do real (Santos *et al.*, 2020).

Trabalhos recentes com a distribuição de insetos, que consideraram as plantas hospedeiras, mostram como as respostas às mudanças climáticas podem ser variáveis. Por exemplo, Cerasoli *et al.* (2020) observaram que a área de sobreposição espacial entre besouros do gênero *Neocrepidodera* Heikertinger, 1911 e suas hospedeiras diminui nos cenários futuros avaliados, com diminuições mais acentuadas em algumas espécies do que outras que outras. Já Halsh *et al.* (2019) observaram que *Passiflora* L. pode se beneficiar com o aumento da temperatura, expandindo sua distribuição, e com isso a espécie de borboleta *Agraulis vanillae* (Linnaeus, 1758) poderia expandir a sua também. Esses casos mostram como é importante incluir informações sobre planta hospedeira, em estudos voltados para conservação de insetos.

Borboletas como modelo de estudo

As borboletas são um bom grupo modelo para investigações com fins de conservação, e estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas. Como outros insetos, as borboletas são bons indicadores de qualidade do ambiente (Bonebrake *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2016). Além disso, devido ao seu apelo estético, são ótimos organismos para educação ambiental, funcionando muito bem como espécie guarda-chuva/bandeira para conservação. Também são bons modelos para estudos que envolvam plantas hospedeiras. Alguns grupos de borboleta possuem uma relação quase exclusiva com suas plantas hospedeiras, dependendo delas para o desenvolvimento dos imaturos quanto defesa dos adultos, como os Heliconinae e as plantas do gênero *Passiflora* L. (Benson *et al.*, 1975), e os Troidini Talbot, 1939 e as plantas do gênero *Aristolochia* (Ehrlich & Raven, 1964).

A tribo Troidini é composta por 130 espécies divididas em 12 gêneros (Haüser 2005). Quanto à distribuição, os Troidini constituem um grupo predominantemente tropical, com centros de distribuição nas florestas de baixada da América Latina e também na região Indo-Australiana. Os troidini são um dos poucos grupos de borboletas que se alimentam quase que exclusivamente de Aristolochiaceae (Weintraub 1995). Eles tornaram-se capazes de utilizar alguns compostos químicos secundários produzidos pelas plantas em seu próprio benefício, seja tornando-se impalatáveis (quando adultos) ou interferindo na predação por parasitoides (fase imatura) (Greeney *et al.*, 2012). O fato das espécies de Troidini usarem poucas espécies de *Aristolochia* como hospedeiras, as torna mais sensíveis a alterações no ambiente. No Brasil, a tribo é representada por três gêneros: *Battus* Scopoli, 1777, *Parides* Hübner, 1819, e *Euryades* Felder & Felder, 1864.

Euryades corethrus

O gênero *Euryades* é endêmico das áreas de campo do sul da América do Sul. O gênero conta com apenas duas espécies: *Euryades corethrus* (Boisduval, 1836) e *Euryades duponchellii* (Lucas, 1836). A primeira delas, *E. corethrus*, era uma espécie comum nos campos nativos do sul do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai (Nuñez-Bustos, 2010). Os indivíduos da espécie são grandes, de voo vigoroso, e apresentam dimorfismo sexual, com os machos de coloração preta e amarela, e as fêmeas mais desbotadas. Os adultos são vistos entre os meses de setembro e março, no período entre primavera e verão, apresentando mais de uma geração por ano (Mega *et al.*, 2020). Os imaturos da geração do final do verão passam o outono e o inverno em diapausa pupal. A espécie apresenta a presença de sphragys, uma espécie de tampão genital que o macho deposita na fêmea ao final da cópula. A fêmea tem o hábito de colocar um ovo por folha da planta hospedeira (Caporale *et al.*, 2017). Não é definido ao certo quantas espécies de *Aristolochia* são utilizadas como hospedeira, visto que a maioria dos registros na literatura são anedóticos, muitas vezes sem dados de populações naturais ou criações em laboratório. Mas se tem um indicativo de que seriam poucas as espécies usadas, como *A. sessilifolia* no Rio Grande do Sul (Caporale *et al.*, 2017), e *A. brevifolia*, *A. fimbriata* e *A. triangularis* na Argentina (Nuñez-Bustos, 2010 e comunicação pessoal). Na área brasileira onde *E. corethrus* é encontrada, entre suas possíveis hospedeiras, apenas *A. sessilifolia*, *A. triangularis* e *A. fimbriata* são registradas. Mega (comunicação pessoal) e (Atencio, 2020) apenas encontraram imaturos em *A. sessilifolia*, no Rio Grande do Sul, embora todas as espécies de *Aristolochia* encontradas tenham sido sistematicamente inspecionadas em busca de ovos e larvas. *A. sessilifolia* é comum em pastagens nativas e amplamente distribuída na região de ocorrência de *E. corethrus*. *A. fimbriata* é rara e escassa no sul do Brasil e ocorre principalmente em fisionomias diferentes dos campos

nativas (Nascimento *et al.*, 2010), onde *E. corethrus* é encontrada. *A. triangularis*, por outro lado, é muito difundida, comum e ocorre frequentemente em bordas de mata, margens de estradas, áreas rupestres e também em campos sujos e estepes (Nascimento *et al.*, 2010). Assim, *A. triangularis* poderia ser um recurso importante para *E. corethrus*.

Atualmente, *E. corethrus* se encontra nas listas de espécies ameaçadas dos três estados onde ocorre no Brasil: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Paraná, 2004; Santa Catarina, 2011; Rio Grande do Sul, 2014). Além disso, apresenta status NT em escala global, pela IUCN (Grice *et al.*, 2019). Apesar disso, a espécie não recebeu status de ameaçada na lista vermelha brasileira (ICMBio & MMA, 2018). A maior ameaça reconhecida a *E. corethrus* é a perda e fragmentação de seu habitat. No Paraná a espécie é raramente encontrada, e sofre pressão da conversão das áreas onde habita, fazendo com que fosse sugerida a mudança de status no estado para criticamente ameaçada (Dolibaina *et al.*, 2010). Atencio (2020), após busca por indivíduos em diversas áreas ao longo da distribuição da espécie entre 2016 e 2019, sugere que atualmente o Rio Grande do Sul seja a principal região onde a espécie pode ser encontrada. Além disso, também sugere que o status no estado seja alterado para em perigo, e que a espécie seja considerada ameaçada na lista de espécies brasileiras.

Ecosistemas não florestais

Ecosistemas não florestais, como savanas e campos, são altamente negligenciados pelos sistemas de conservação no mundo (Bond & Parr, 2010; Overbeck *et al.*, 2015). Apesar disso, esses ecossistemas são bastante ricos em espécies de animais e plantas, podendo apresentar altos níveis de endemismo (Bond & Parr, 2010; Wilson *et al.*, 2012; Overbeck *et al.*, 2015). O fato de serem negligenciados está relacionado muitas vezes ao fato de ambientes campestres não serem reconhecidos como ecossistemas em clímax, mas como estágios sucessionais que eventualmente se tornarão florestas (Bond & Parr, 2010).

Na verdade, os ecossistemas campestres são altamente complexos, características de ecossistemas clímax, o que torna esse pensamento totalmente equivocado (Bond & Parr, 2010).

No sul da América do Sul, entre Brasil, Uruguai e Argentina, ocorre uma das maiores áreas de campo de clima temperado do mundo. No Brasil, a maior parte dessas áreas de campo (cerca de 75%, Overbeck *et al.*, 2007) se encontra no bioma Pampa. O Pampa é o bioma brasileiro com o maior Conservation Risk Index (CRI) (Overbeck *et al.*, 2015). O CRI é calculado como a razão entre a porcentagem de áreas convertidas para uso humano e a porcentagem de áreas protegidas, e é usado como um índice de risco de perda de biodiversidade no bioma (Hoekstra *et al.*, 2005). De fato, apenas 3,3% das áreas naturais do Pampa se encontram dentro de unidades de conservação (MMA, 2019). Aproximadamente metade das áreas naturais de campo do Pampa foi convertida para agricultura (monoculturas), pecuária e silvicultura, tornando o bioma fragmentado, um padrão que se repete nas demais regiões de campo do sul do Brasil (Pillar *et al.*, 2012). Apesar disso o Pampa é um dos ecossistemas não florestais mais ricos do mundo (Overbeck *et al.*, 2015).

Objetivos e hipóteses

Esse trabalho teve como objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas na conservação de *E. corethrus*. Para isso, foi avaliado se, além de *A. sessilifolia*, *A. triangularis* é utilizada como planta hospedeira na atual área principal de distribuição da espécie, o Rio Grande do Sul. Após isso, foram avaliados os efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição da borboleta, sua (s) planta (s) hospedeira (s) e as áreas de potencial sobreposição espacial entre elas.

As hipóteses são: (i) pelo menos no Rio Grande do Sul, *A. triangularis* não é usada como hospedeira; (ii) as mudanças climáticas têm efeito nas distribuições da borboletas

e planta (s) hospedeira (s); (iii) as distribuições da borboleta e planta (s) hospedeira (s) respondem de maneira diferente, diminuindo as áreas de sobreposição entre elas.

Resultados gerais

- Os imaturos de *E. corethrus* testados não se alimentaram de *A. triangularis*;
- Modelos de distribuição foram feitos para *E. corethrus* e *A. sessilifolia*;
- Modelos indicam o Rio Grande do Sul como área principal para ocorrência da borboleta e da planta hospedeira;
- Distribuição da borboleta parece não sofrer grandes modificações nos cenários futuros;
- Distribuição da planta contrai em todos os cenários futuros;
- Conseqüentemente, áreas de sobreposição entre borboleta e planta contraem em todos os cenários futuros.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

Referências

(Segundo as normas de do periódico *Insect Conservation and Diversity*, disponíveis no link: <https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/17524598/homepage/forauthors.html>)

Atencio, G.W.G. (2020) Status de conservação e estruturação populacional de *Euryades corethrus* (LEPIDOPTERA, PAPILIONIDAE) utilizando modelagem de nicho e marcadores moleculares. (Ph.D. Thesis). Federal University of Rio Grande do Sul, University Press, Porto Alegre.

Bebber, D., Ramotowski, M. & Gurr, S. (2013) Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, **3**, 985–988.

Benson, W.W., Brown Jr., K.S. & Gilbert, L.E. (1975) Coevolution of plants and herbivores: passion flower butterflies. *Evolution*, **29**, 659-680.

Bond, W.J. & Parr, C.L. (2010) Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. *Biological Conservation*, **143**, 2395-2404.

Bonebrake, T.C., Ponisio, L.C., Boggs, C.L. & Ehrlich, P.R. (2010) More than just indicators: a review of tropical butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, **143**, 1831-1841.

Caporale, A., Romanowski, H.P. & Mega, N.O. (2017) Winter is coming: Diapause in the subtropical swallowtail butterfly *Euryades corethrus* (Lepidoptera, Papilionidae) is triggered by the shortening of day length and reinforced by low temperatures. *Journal of Experimental Zoology*, **327**, 182-188.

Cardoso, P., Barton, P.S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C.S., Gaigher, R., Habel, J.C., Hallmann, C.A., Hill, M.J., Hochkirch, A., Kwak, M.L., Mammola, S., Noriega, J.A., Orfinger, A.B., Pedraza, F., Pryke, J.S., Roque, F.O., Settele, J., Simaika, J.P., Stork, N.E., Suhling, F., Vorster, C. & Samways, M.J. (2020) Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, **242**.

Cerasoli, F., Thuiller, W., Guéguen, M., Renaud, J., D'Alessandro, P. & Biondi, M. (2020) The role of climate and biotic factors in shaping current distribution and potential future shifts of European *Neocrepidodera* (Coleoptera, Chrysomelidae). *Insect Conservation and Diversity*, **13**, 47-62.

Cohen, J.M., Lajeunesse, M.J. & Rohr, J.R. (2018) A global synthesis of animal phenological responses to climate change. *Nature Climate Change*, **8**, 224-228.

Dennis, R.L., Dapporto, L., & Dover, J.W. (2014) Ten years of the resource-based habitat paradigm: the biotope-habitat issue and implications for conserving butterfly diversity. *Journal of Insect Biodiversity*, **2**, 1-32.

Dolibaina, D.R., Carneiro, E., Dias, F.M.S., Mielke, O.H.H. & Casagrande, M.M. (2010) Registros inéditos de borboletas (Papilionoidea e Hesperioidea) ameaçadas de extinção para o Estado do Paraná, Brasil: novos subsídios para reavaliação dos critérios de ameaça. *Biota Neotropica*, **10**, 75–81.

Egizi, A., Fefferman, N.H. & Fonseca, D.M. (2015) Evidence that implicit assumptions of ‘no evolution’ of disease vectors in changing environments can be violated on a rapid timescale. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **370**.

Ehrlich, P.R. & Raven, P.H. (1964) Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, **18**, 586-608.

Farmer, G.T. & Cook, J. (2013) *Climate change science: a modern synthesis: Volume 1 – the physical climate*. Springer.

Giannini, T.C., Tambosi, L.R., Acosta, A.L., Jaffé, R., Saraiva, A.M., Imperatriz-Fonseca, V.L. & Metzger, J.P. (2015) Safeguarding ecosystem services: a methodological framework to buffer the joint effect of habitat configuration and climate change. *Plos ONE*, **10**.

Greeney, H.F., Dyer, L.A. & Smilanich, A.M. (2012) Feeding by lepidopteran caterpillar is dangerous: a review of caterpillars’ chemical, physiological, morphological and behavioral defenses against enemies. *Invertebrate Survival Journal*, **9**, 7-34.

Grice, H., Nunez-Bustos, E., Mega, N., Dias, F.M.S., Rosa, A., Freitas, A.V.L. & Marini-Filho, O. (2019) *Euryades corethrus* (amended version of 2018 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*.

Guisan, A., Thuiller, W. & Zimmermann, N.E. (2017) *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Halsch, C.A., Shapiro, A.M., Thorne, J.H., Waetjen, D.P. & Forister, M.L. (2019) A winner in the Anthropocene: changing host plant distribution explains geographic range expansion in the gulf fritillary butterfly. *bioRxiv*. doi: 10.1101/754010.

Häuser, C.L., Jong, R.D., Lamas, G., Robbins, R.K., Smith, C., Vane-Wright, R.I. (2005) Papilionidae - revised GloBIS/GART species checklist (2nd draft). <<http://www.insects-online.de/frames/papilio.htm>>. 10/06/2020.

Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H. & Roberts, C. (2005) Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters*, **8**, 23-29.

Hortal, J., de Belo, F., Diniz-Filho, J.A.F., Lewinson, T.M., Lobo, J.M. & Ladle, R.J. (2015) Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **46**, 523-549.

ICMBio & MMA (2018) *Livro vermelhode fauna brasileira ameaçada de extinção: Volume 1*. Brasília, DF.

Mega, N.O., Guimarães, M., Costa, M.C., Caporale, A., Paesi, R.A., Fucilini, L.L. & Romanowski, H.P. (2020) Population biology and natural history of the grassland butterfly *Euryades corethrus* (Papilionidae: Troidini), an endangered species from South

American Campos. *Journal of Insect Conservation*, <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00258-8>.

MMA (2019) *Painel unidades de conservação brasileiras*. <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjUxMTU0NWMTODkyNC00NzNiLWJiNTQtNGI3NTI2NjliZDkzIiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBlNyJ9>> 10th May 2020.

Nascimento, D.S., Cervi, A.C. & Guimarães, O.A. (2010) A família Aristolochiaceae Juss. no estado do Paraná, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, **24**, 414-422.

Núñez-Bustos, E. (2010) *Mariposas de la ciudad de Buenos Aires y alrededores*. Vázquez Mazzini, Buenos Aires, AR.

Overbeck, G.E., Müller, S.C., Fidelis, A., Pfadenhauer, J., Pillar, V.D., Blanco, C.C., Boldrini, I.I., Both, R. & Forneck, E.D. (2007) Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **9**, 101-116.

Overbeck, G.E., Vélez-Martin, E., Scarano, F.R., Lewinsohn, T.M., Fonseca, C.R., Meyer, Müller, S.C., Ceotto, P., Dadalti, L., Durigans, G., Ganade, G., Gossner, M.M., Guadagnin, D.L., Lorenzen, K., Jacobi, C.M., Weisser, W.W. & Pillar, V.D. (2015) Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and Distributions*, **21**, 1455–1460.

Paraná (2004) *Lista das espécies animais ameaçadas de extinção do estado do Paraná*. Decreto nº 3148, de 15 de junho de 2004.

Pillar, V.D., Tornquist, C.G. & Bayer, C. (2012) The southern Brazilian grassland biome: soil carbon stocks, fluxes of greenhouse gases and some options for mitigation. *Brazilian Journal of Biology*, **72**, 673-681.

Rio Grande do Sul (2014) *Espécies de fauna silvestre ameaçadas de extinção do estado do Rio Grande do Sul*. Decreto nº 51.797, de 8 de setembro de 2014.

Santa Catarina (2011) *Lista oficial de espécie ameaçadas de extinção do estado de Santa Catarina*. Resolução nº 002, de 06 de dezembro de 2011, CONSEMA.

Santos, J.P., Marini-Filho, O.J., Freitas, A.V.L. & Uehara-Prado, M. (2016) Monitoramento de borboletas: o papel de um indicador biológico na gestão de unidades de conservação. *Biodiversidade Brasileira*, **6**, 87-99.

Santos, J.P., Sobral-Souza, T., Brown Jr., K.S., Vancine, M.H., Ribeiro, M.C. & Freitas, A.V.L. (2020) Effects of landscape modification on species richness patterns of fruit-feeding butterflies in Brazilian Atlantic Forest. *Diversity and Distributions*, **26**, 196-208.

Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C.L., Hoffmann, A.A., Pandolfi, J.M., Corlett, R.T., Butchart, S.H.M., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K.M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondini, C., Foden, W.B., Martin, T.G., Mora, C., Bickford, D. & Watson, J.E.M. (2016) The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, **354**.

Stauder, I.R., Vélez-Martin, E., Andrade, B.O., Podgaiski, L.R., Boldrini, I.I., Mendonça Jr, M., Pillar, V.D. & Overbeck, G.E. (2018) Local biodiversity erosion in south Brazilian grasslands under moderate levels of landscape habitat loss. *Journal of Applied Ecology*, **55**, 1241-1251

Weintraub, J. D. 1995. Host plant association patterns and phylogeny in the tribe Troidini (Lepidoptera: Papilionidae). *Swallowtail Butterflies: their ecology and evolutionary biology* (ed. by Scriber, J.M., Tsubaki, Y. & Lederhouse, R.C.), pp. 307-316. Scientific Publishers, Gainesville, FL.

Wilson, J.B., Peet, R.K., Dengler, J., & Pärtel, M. (2012) Plant species richness: the world records. *Journal of Vegetation Science*, **23**, 796–802.

1 **Capítulo II – Artigo a ser submetido a revista *Insect***

2 ***Conservation and Diversity***

3 **Original Article**

4 **Article title:** Will climatic-driven host plant distribution
5 contraction threaten the future of the endemic grassland butterfly
6 *Euryades corethrus*?

7 **Running title:** Conservation of *Euryades corethrus*

8 **Authors names:** Diego da Silveira Martins^{1, *}, Guilherme
9 Wagner Gutierrez Atencio¹ & Helena Piccoli Romanowski^{1, 2}.

10 **Authors affiliations**

11 1 Graduate Program in Animal Biology, Federal University of
12 Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves 9500/43435. Postal
13 Code 91501-970. Porto Alegre, RS, Brazil.

14 2 Department of Zoology, Federal University of Rio Grande do
15 Sul. Av. Bento Gonçalves 9 9500/43435. Postal Code 91501-
16 970. Porto Alegre, RS, Brazil.

17 * Author for correspondence: diego.martins@ufrgs.br

18 **Abstract**

19 1. Non-forest physiognomies have been much neglected in
20 conservation strategies, despite their high diversity. The
21 swallowtail butterfly *Euryades corethrus*, is endemic to
22 the grasslands of southern South America. Due to habitat
23 destruction its distribution is gradually being constrained

24 to Rio Grande do Sul, southernmost Brazil, mainly in
25 Pampa biome.

26 2. It's not known for sure which species *E. corethrus* uses
27 as host plant, but, in Brazilian Pampa, it has been
28 recorded only in *Aristolochia sessilifolia*. However,
29 *Aristolochia triangularis* is also indicated as a host plant
30 and could play an important role in the conservation of
31 the butterfly.

32 3. In this work, it was tested if *E. corethrus* could use *A.*
33 *triangularis* as a host plant. In addition, species
34 distribution models were used to evaluate the potential
35 impacts of climate changes on the butterfly and host
36 plant(s) distributions, and on the areas of overlap
37 between them.

38 4. *A. triangularis* was not accepted by immatures, and, at
39 least in Rio Grande do Sul, it does not seem to be used as
40 a host plant. Effects of climate changes on the
41 distribution of *E. corethrus* were minor; however, the
42 distribution of *A. sessilifolia* decreased considerably.
43 Accordingly, the areas of overlap between them have
44 been greatly reduced.

45 5. Climate changes will impact the butterfly indirectly,
46 adding to the effects of loss and fragmentation of native
47 grasslands. Thus, the risk of extinction of *E. corethrus*
48 must be recategorized. Results support how important it

49 is to consider species interactions and climate change
50 jointly in conservation planning.

51 **Key words:** *Aristolochia*, butterfly-hostplant co-occurrence,
52 climate changes, conservation, Pampa, species distribution
53 models.

54 **Introduction**

55 Non-forest physiognomies (grasslands and savannas) have
56 long been neglected in conservation strategies and in the
57 establishment of protected areas, and especially so in Brazil
58 (Overbeck *et al.*, 2015). Despite that, these physiognomies
59 present very high plant and animal diversity and endemism
60 (Bond & Parr, 2010; Wilson *et al.*, 2012; Overbeck *et al.*, 2015).
61 The grasslands of South Brazil, Argentina and Uruguay are one
62 of the largest temperate grassland regions of the world (Staute *et*
63 *al.*, 2018). In Brazil, most of these are within the Pampa, a poorly
64 known biome outside and inside Brazil, even though it is among
65 the most species-rich grasslands of the world (Overbeck *et al.*,
66 2015). Nevertheless, only about 3.3% of the remaining natural
67 grasslands of the Pampa is protected by the Brazilian
68 conservation system (MMA, 2019). This makes Pampa the
69 Brazilian biome with the highest Conservation Risk Index (CRI
70 = percent area converted to human uses / percent area protected)
71 (Hoekstra *et al.*, 2005; Overbeck *et al.*, 2015).

72 The only two species of the swallowtail butterfly genus
73 *Euryades* (C. Felder & R. Felder, 1864) (Papilionidae, Troidini)
74 are both endemic to the non-forested habitats of South Brazil,
75 Uruguay, Argentine “Litoral” and Oriental Paraguay (Tyler *et*
76 *al.*, 1994; Nuñez-Bustos, 2010). One of these, *Euryades*
77 *corethrus* (Boisduval, 1836), has most of its extent of occurrence
78 in the grasslands of southern Brazil, and neighboring regions
79 (Atencio, 2020; Grice *et al.*, 2019a). *E. corethrus* is a sturdy
80 butterfly and used to be common in native humid grasslands
81 (Nuñez-Bustos, 2010; Atencio, 2020). These fields, however,
82 have been increasingly converted by accelerated expansion of
83 single crop commercial agriculture resulting in an alarming level
84 of habitat loss (Dolibaina *et al.*, 2010; Nuñez-Bustos, 2010). *E.*
85 *corethrus* is currently listed as Near Threat (NT) in the IUCN
86 Red list of endangered species (Grice *et al.*, 2019a), and
87 considered at some level of risk of extinction in all three states
88 where it occurs in Brazil: Endangered (EN) in Paraná (Paraná,
89 2004) and Santa Catarina (Santa Catarina, 2011); and Vulnerable
90 (VU) in Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2014). At
91 present, Rio Grande do Sul seems to be the main region where
92 the species can still be found (Atencio, 2020).

93 Climate changes could potentially exacerbate the situation.
94 Environmental researchers are challenged to predict how these
95 changes will affect the ecosystems, based on current
96 observations (Williams & Jackson, 2007). Multiple variables

97 interact in their effects on biodiversity (Oliver & Morecroft,
98 2014), making species responses to these changes very complex
99 to determine. Despite this complexity, predicting the distribution
100 of species is pivotal for conservation purposes. Studies have
101 documented range shifts to higher elevations concurrent with
102 increasing temperature in Neotropical butterflies (Molina-
103 Martinez *et al.*, 2016). These shifts affect the organization of
104 ecosystems, and also the services they provide. Gianinni *et al.*
105 (2015) showed that the range shifts in the distribution of a
106 stingless bee, *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836, could
107 affect the pollination service of coffee plantations in
108 southeastern Brazil.

109 Species distribution models (SDMs) are useful tools to
110 study the geographical distribution of species and predict the
111 impacts of climate changes on species distributions (Araujo *et*
112 *al.*, 2011). The method consists of using the climatic
113 characteristics of the sites where it is known that the species
114 occurs to find areas potentially suitable for its occurrence
115 (Guisan *et al.*, 2017). This approach has already been used with
116 several animal and plant groups in the last decades to assess
117 priority areas for conservation (Carvalho *et al.*, 2017); to indicate
118 areas of interest for sampling poorly known taxa (Silva *et al.*,
119 2019), distribution shifts in past (Barrientos *et al.*, 2014) and
120 future scenarios (Cerasoli *et al.*, 2020).

121 Future species distributions, however, are likely to vary
122 widely, because these distributions are conditioned to more than
123 just the climate. The availability of food resources, the presence
124 of predators and/or competitors are some of the biotic factors that
125 make the distribution response variable (Soberón, 2007; Oliver
126 & Morecroft, 2014). The decline of some butterfly species could
127 be correlated to their host plants (Koh *et al.*, 2004). Changes in
128 the distribution of co-occurring plants could cause spatial
129 mismatches of butterflies and their host plants (Schweiger *et al.*,
130 2008) with crucial implications for the conservation of butterfly
131 species (Belaver, 2019). These indirect effects have also been
132 evidenced for other insects, such as termites (Cunha *et al.*, 2018).
133 However, many studies do not take the interaction between
134 species into account when predicting species distributions.

135 It is not yet well established which species *E. corethrus*
136 does use as host plants. Troidini Talbot, 1939 butterflies have
137 tightly knit associations with Aristolochiaceae Juss. plants, and
138 most species feed specifically only on a few or even very few
139 species of the *Aristolochia* L. genus (Tyler *et al.*, 1994;
140 Weintraub 1995; Klitze & Brown, 2000). For *E. corethrus*, most
141 host plants citations come from anecdotal accounts, with no
142 associated data derived from studies focused on elucidating
143 which species *E. corethrus* could actually feed on. The most
144 relevant evidence for determining host plants is research
145 reportedly based on documented field records and/or laboratory

146 experiments. Tyler *et al.* (1994) cite *Aristolochia fimbriata*
147 Cham. and *Aristolochia sessilifolia* (Klotzsch) Duch., but
148 indicate the latter as the principal host for South and
149 Southeastern Brazil *E. corethrus*. Nuñez-Bustos (2010 and
150 personal communication) reports *A. fimbriata*, *Aristolochia*
151 *triangularis* Cham. & Schltld. and *Aristolochia brevifolia*
152 (Cham.) Hauman as food plants for *E. corethrus*, based on
153 extensive field experience in butterfly surveys in Argentina.
154 Caporale *et al.* (2017), Mega (personal communication) and
155 Atencio (2020) have only found immatures, and raised them in
156 laboratory, in *A. sessilifolia*, in Rio Grande do Sul, although all
157 species of *Aristolochia* found were systematically inspected for
158 eggs and larvae.

159 In the Brazilian area where *E. corethrus* is found,
160 amongst its possible hosts, only *A. sessilifolia*, *A. triangularis*
161 and *A. fimbriata* are recorded. *A. sessilifolia* is an herbaceous
162 species, common in native grasslands and distributed widely
163 over the range of *E. corethrus*. *A. fimbriata* is uncommon and
164 scarce across south Brazil and occurs mostly in physiognomies
165 different from the native grasslands (Nascimento *et al.*, 2010),
166 where *E. corethrus* is found. *A. triangularis*, on the other hand,
167 though also found in forested areas, is very widespread, common
168 and frequently occurs in wood borders, road sides, rupestrian
169 areas and also in shrublands (low, open) and shrub-steppe

170 (Nascimento *et al.*, 2010). Thus, conservation-wise, *A.*
171 *triangularis* could be an important resource for *E. corethrus*.

172 This work aims to assess the conservation prospects of *E.*
173 *corethrus*. Thus it is paramount to assess the use of *A.*
174 *triangularis* as a host plant and, then, evaluate the potential
175 effects of climate change on the distribution of the butterfly and
176 its host plant(s). The hypotheses are that i) *Euryades corethrus*
177 does not use *Aristolochia triangularis* as a host plant, at least at
178 the main region of its current distribution; ii) climate changes
179 affect the distribution of the butterfly and their host plant(s); iii)
180 the butterfly and host plant(s) distributions respond differently
181 to climate changes, decreasing the overlap area between them.

182 **Material and Methods**

183 *Performance tests*

184 To evaluate *A. triangularis* as a host plant, eggs of *E.*
185 *corethrus* were collected from a natural population (Eldorado do
186 Sul, Rio Grande do Sul, Brazil: 30°06'21"S, 51°40'33"W), in *A.*
187 *sessilifolia*, between September 2019 and March 2020 (spring
188 and summer). In the laboratory, the eggs were carefully removed
189 from the leaves with a wet brush and then transferred
190 individually to freshly picked young *A. triangularis* leaves. The
191 leaves with the eggs were then placed in plastic pots (200 mL)
192 lined with a paper tissue.

193 The rearing conditions (temperature and photoperiod) and
194 protocol followed Caporale *et al.* (2017) for three reasons. First,
195 juveniles under this protocol readily accepted the host plant and
196 survived well; second, to avoid winter diapause induction; and,
197 third, to allow comparisons with the results of those authors with
198 the *E. corethrus* juveniles from the same population, reared in *A.*
199 *sessilifolia*. The immatures were kept in B.O.D. incubators in a
200 simulation of a day (24h) with the duration of light and dark
201 (L:D) 12:12, and temperature 25°C (+/- 2°C). The pots were
202 checked daily and records were made of the development and fate of
203 each individual.

204

205 *Species distribution models*

206 After the performance tests, SDMs projections were made
207 for the recent historical period, called here present period, and
208 two future periods – 2050 and 2070 - to evaluate the climate
209 change impacts on the potential distributions and spatial overlap
210 between the butterfly and the host plant(s) distributions. The
211 records of occurrence of the butterfly and the host plants were
212 obtained from previous works by our research group with the
213 species (Atencio, personal communication) and updated with
214 online databases (speciesLink Network; Global Biodiversity
215 Information Facility (GBIF)).

216 The climatic variables used on the models were the 19
217 bioclimatic variables of WorldClim (<http://worldclim.org>), with
218 a spatial resolution of 30 seconds, meaning that each cell has a
219 size of 0.5×0.5 longitude/latitude degrees, equivalent to
220 approximately 1 km² (900 m at the equator). The projections for
221 the present period were made with version 2.1 (Fick & Hijmans,
222 2017), and for the future scenarios were made with version 1.4
223 (Hijmans *et al.*, 2005). For the future projections, the variables
224 used were derived from the Atmosphere-Ocean General
225 Circulation Model (AOGCM), Community Climate System
226 Model (CCSM) global climate model. Two greenhouse gas
227 concentrations scenarios were used for each future period: (i) the
228 representative concentration pathway (RCP) 4.5, a moderate
229 scenario, which assumes that global annual greenhouse gas
230 concentrations (measured in CO₂-equivalents) peak around
231 2040, without overshooting, then decline slowly, so that
232 radiative forcing stabilizes at ~4.5 W m⁻² after 2100; and (ii)
233 RCP 8.5, a severe scenario, in which, in absence of efficient
234 climate change policies, emissions shoot and continue to rise
235 throughout the 21st century, and radiative forcing reaches above
236 8.5 W m⁻² in 2100 (Moss *et al.*, 2010). The climatic variables
237 were cropped with the extension of the South America mask.
238 Among the available variables, those that, to the best of our
239 knowledge and experience, were the most biologically relevant
240 for the species distributions, were chosen. The correlation

241 between these variables was assessed using the Pearson
242 coefficient, and the least correlated variables were selected to
243 make the projections.

244 All the projections were made in the Stacked Species
245 Distribution Modeling (SSDM) package (Schmitt *et al.*, 2017),
246 in the R platform. The climatic variables selected for each
247 species were normalized between 0 and 1. To reduce the
248 sampling bias in the occurrences, a geographical thinning was
249 performed with the same resolution as the climatic variables. As
250 is usual in SDMs research, the data available is presence-only
251 for both butterfly and plant species. However, some algorithms
252 needed absence or background data, and in these cases, pseudo-
253 absences were used. It was decided to set the pseudo-absences
254 as the package default, thus, the strategy of selection of pseudo-
255 absences depended on the algorithm used.

256 To decrease the uncertainty in the distribution projections,
257 four algorithms were used and ensemble SDMs were built,
258 which were consensus between the projections. The algorithms
259 used were the General Linear Model (GLM), Random Forest
260 (RF), Maximum Entropy (MAXENT) and Support Vector
261 Machine (SVM). All the algorithms parameters configurations
262 were set as default. Each algorithm was repeated five times, and
263 each repetition was evaluated with the area under the receiving
264 operating characteristic (ROC) curve (AUC). The cross-
265 validation method used for evaluating the SDMs models was the

266 holdout, where the data was partitioned in a training (70%) and
267 an evaluated (30%) fraction, without repetition. Those models
268 that had AUC 0.75 or higher were included in the ensemble
269 SDMs. The AUC value is a metric based on the confusion
270 matrix. To obtain a confusion matrix, it is required to convert the
271 suitability maps (the outputs projections) into binary maps of
272 presence/absence. The metric used to make this conversion was
273 the true skill statistic (TSS), which maximizes the sum of
274 sensitivity and specificity. To improve the presentation of the
275 maps, the suitability, which varies from 0 to 1, is shown in
276 discrete intervals of 0.175 units. Therefore, there were six
277 intervals.

278 To evaluate the areas of potential spatial overlap between
279 butterfly and host plant distributions, we produced binary maps
280 for all scenarios, based on the ensembles projections. The value
281 of 0.70 was taken as a threshold: values equal to or higher
282 indicated potential suitability for the presence of the species and
283 lower values, absence. These binary maps were combined, to
284 show the areas of spatial overlap, where butterfly and host plant
285 potentially could co-occur.

286 **Results**

287 *Performance test*

288 At the onset of the test, 17 eggs were transferred to *A.*
289 *triangularis*. Of these, 14 eggs hatched, but no larva ate the

290 leaves. The newly hatched larvae ate the chorion and then moved
291 away from the leaves. After two days of starvation, all the larvae
292 died. No damage to leaves was recorded. Given this 100%
293 mortality of the immatures, without any sign that this plant could
294 be used, and extreme contrast with the pattern for *A. sessilifolia*,
295 we decided to terminate the test.

296

297 *Species distribution models*

298 Given the outcome of the performance test, the SDMs
299 projections were made only for *E. corethrus* and *A. sessilifolia*.
300 For *E. corethrus*, the models were built with occurrences for 118
301 localities (Table 1). Six variables were selected (Table 2). The
302 variables were related to seasonality (both for temperature and
303 precipitation) and values in coldest (for temperature) and
304 warmest (for temperature and precipitation) periods. All the
305 algorithms used to build the ensembles projections for present
306 and future scenarios (Fig. 1) had AUC larger than 0.93 (Table
307 3). For the current distribution, the model predicted that the areas
308 with higher suitability (> 0.7) are, mostly, in Rio Grande do Sul,
309 Brazil (Fig. 1a). This pattern has been sustained over time.

310 For future scenarios, there was a trend for the suitability to
311 increase towards the south and to decrease in the north over time
312 and the more severe the modeled scenario was. The distribution
313 shifted towards Uruguay, but mainly the northern limit was

314 pushed to the south. All areas with suitability higher than 0.875
315 were concentrated in Rio Grande do Sul in all scenarios, and
316 virtually vanished in 2070 RCP 8.5. (Fig. 1b-e).

317 The extent of climatically suitable habitat predicted by the
318 ensemble projection, in the present scenario for *E. corethrus*
319 (areas with suitability ≥ 0.7) was approximately 5500 km²
320 (Table 3). This area increased approximately 11% for 2050 RCP
321 4.5; otherwise, it remained virtually unaltered in the other
322 scenarios (Fig. 4).

323 For *A. sessilifolia* records for 73 localities were gathered
324 (Table 4). Five variables were selected, also mostly related to
325 seasonality (Table 2). All the algorithms had AUC values higher
326 than 0.94 (Table 3) and were used to build the ensembles (Fig.
327 2). None of the ensembles had predicted suitability higher than
328 0.875. The areas with high suitability (> 0.7) in the current
329 scenario laid mostly in Rio Grande do Sul, Brazil (Fig. 2a), but
330 also in Misiones, Argentina. These areas had a considerable
331 decrease in future scenarios, laying mainly in northwest Rio
332 Grande do Sul, but for 2070 RCP 4.5 scenario, in which
333 Misiones remained with a good level of suitability. (Fig. 2b, c,
334 d, and e).

335 The extension of potentially suitable area for *A. sessilifolia*
336 in the current scenario was approximately 3900 km² (Fig. 4).
337 This area contracted in all future scenarios: approximately 40%

338 and 11% for RCP 4.5, 2050 and 2070, respectively; 35% and
339 36% for RCP 8.5, 2050 and 2070, respectively (Fig. 4).

340 The potential spatial overlap area between *E. corethrus*
341 and *A. sessilifolia* in the present scenario was found mostly in
342 Misiones, Argentina and Rio Grande do Sul, with smaller areas
343 in Santa Catarina, Brazil (Fig 3a). These areas contracted mostly
344 to the northwest / centre of Rio Grande do Sul in all future
345 scenarios (Fig. 3b-e). The current extent of potential spatial
346 overlap was approximately 3100 km². This area decreased in all
347 the future scenarios: approximately 39% and 30% for RCP 4.5,
348 2050 and 2070, respectively; and approximately 38% for RCP
349 8.5 in both periods of time (Table 3; Fig. 4).

350 **Discussion**

351 Knowing the possible host plants of herbivore insects is
352 crucial information for conservation. For *E. corethrus*, at least
353 three species of *Aristolochia* listed in the literature could be host
354 plants for the current core region of its distribution, that is Rio
355 Grande do Sul, Brazil. However, immature stages are routinely
356 found in only one of these plants, *A. sessilifolia*.

357 The results of the performance experiments supported our
358 field experience, in which *E. corethrus* larva did not feed on *A.*
359 *triangularis*. Two days after hatching, all the caterpillars reared
360 on this plant died in the first instar, and the leaves remained
361 intact. This result is supported by Tyler *et al.* (1994) who

362 indicated that *A. sessilifolia* is the major host plant of *E.*
363 *corethrus* in southeastern Brazil. The behavior of caterpillars in
364 the presence of *A. triangularis* is in strong contrast to that
365 displayed when larvae were offered *A. sessilifolia* (Caporale *et*
366 *al.* 2017).

367 The death of all caterpillars without feeding may have
368 happened because *E. corethrus* did not recognize *A. triangularis*
369 as a food resource. The recognition of host plants, as a site for
370 laying eggs and as a food resource, plays an important role in the
371 life cycle of phytophagous insects. This recognition is perceived
372 by specialized organs and interpreted in the insect's central
373 nervous system (Dethier, 1982). There are no studies on the
374 oviposition behavior of *E. corethrus*, which, in most cases, also
375 depends on the recognition of the correct host plant. However,
376 what matters is the ability of the caterpillars to feed, develop, and
377 survive on the plant.

378 It would have been sensible to have tested *E. corethrus*
379 juveniles from other parts of its distribution - e.g., individuals
380 from Paraná (north), Paraguay (northwest), or Argentina
381 (southwest) -, not just from Rio Grande do Sul. However, *E.*
382 *corethrus* has hardly seldom been registered in these regions for
383 long (Dolibaina *et al.*, 2010; Atencio, 2020.; Nuñez-Bustos,
384 personal communication). Thus, it is suggested that, at least in
385 the area of its distribution where *E. corethrus* currently does
386 occur, only *A. sessilifolia* is used as a host plant and, thus,

387 important from a conservation point of view. Although
388 monophagy is not common among the Troidini butterflies (Mega
389 *et al.*, 2015), some species have a restricted diet. For example,
390 the Fluminense Swallowtail, *Parides ascanius* (Cramer, 1775),
391 feeds exclusively in *Aristolochia trilobata* L. (Otero and Brown,
392 1986), and *Parides burchellanus* (Westwood, 1872), for which,
393 the only reported host plant is *Aristolochia chamissonis*
394 (Klotzsch) Duch. (Bedê *et al.* 2015). Both Troidini species are
395 endemic of Brazil, have a small extent of occurrence, and are
396 threatened with extinction. *P. ascanius* is listed as Endangered
397 (EN) in Brazil (Freitas *et al.*, 2018a) and Vulnerable (VU) (Grice
398 *et al.*, 2019b) in IUCN's assessment; and *P. burchellanus* as
399 Critically Endangered (CR) in Brazil (Freitas *et al.*, 2018b) and
400 Endangered (EN) in IUCN's assessment (Grice *et al.*, 2019c).

401 The results point that the suitable areas for *E. corethrus*
402 and *A. sessilifolia* lay mostly in Rio Grande do Sul, and this will
403 remain so in all the future scenarios. Areas suitable for *E.*
404 *corethrus* increased a little to the south, and had not undergone
405 contractions in the predicted future scenarios. However, for *A.*
406 *sessilifolia*, the suitable areas have hardly shifted, and have
407 suffered a considerable reduction in all future scenarios.
408 Therefore, the areas where butterfly and plant could co-occur
409 decreased dramatically. In future scenarios, in average 37% of
410 the extent of special overlap between their distributions
411 decreased. This decrease is observed even in Rio Grande do Sul,

412 which seems to be the best region for *E. corethrus* and *A.*
413 *sessilifolia*.

414 Associating this increased spatial incompatibility with the
415 result of the performance tests with *A. triangularis*, the situation
416 becomes all the more worrying. If *E. corethrus* does not use *A.*
417 *triangularis*, and *A. fimbriata* is indeed too rare, the persistence
418 of the butterfly depends on the distribution of *A. sessilifolia*.
419 Considering that the habitat of a species is defined not only by
420 climate, but also by interactions with other species and food
421 resources (Dennis *et al.*, 2014), climate changes will affect
422 profoundly the remaining habitat for *E. corethrus*, indirectly.

423 Climate changes affect species differently depending on
424 their biology and life history traits (Tourneur & Meunier 2020).
425 The importance of adding information about host plant when
426 modeling species distributions has been demonstrated for other
427 insects, with varying results. Cerasoli *et al.* (2020) found that the
428 spatial overlap between some beetle species from genus
429 *Neocrepidodera* Heikertinger, 1911 and their host plants reduces
430 in all future scenarios evaluated, indicating that the effects of
431 climate warming could be exacerbated. In the other hand, Halsch
432 *et al.* (2019) found that future climate scenarios may be suitable
433 for an expansion of *Passiflora* L. plants distributions, which
434 could result in a corresponding spread of *Agraulis vanillae*
435 (Linnaeus, 1758) in the dispersive season.

436 Global warming seems to be a major cause of animals and
437 plants extinctions, though some populations could tolerate some
438 increase in temperature, within limits of range or time of
439 exposure (Román-Palacios and Wiens, 2019). This may be the
440 case of *E. corethrus*, which occurs in a region where the average
441 temperature is 20°C, but extremes can vary from -5°C to 40°C
442 (Queirolo, 2017). In fact, individuals may be seen flying in the
443 hottest hours of sunny days in summer, when thermal sensation
444 may be even higher (Atencio, 2020). However, climate change
445 may also affect the phenology of these species, generating
446 asynchronies between herbivore insects and host plants (Cohen
447 *et al.*, 2018). Also, Caporale *et al.* (2017) have recorded 100%
448 mortality of juveniles of *E. corethrus* raised at 15°C and 35°C,
449 which suggests temperature thresholds for immature
450 development.

451 The grasslands where *E. corethrus* used to be common
452 have been increasingly converted by intensive livestock and
453 associated practices (Dolibaina *et al.*, 2010), tree plantations
454 (Nuñez-Bustos, 2010), accelerated expansion of monocultures
455 and grain agribusinesses (mainly soybean and rice) and the
456 accompanying rise in pesticides use (135% from 2000-2015%;
457 Bombardi *et al.*, 2017), resulting in an alarming level of habitat
458 loss, fragmentation and degradation. For these reasons,
459 Dolibaina *et al.* (2010) suggested that it should be recategorized
460 to Critically Endangered (CR) in Paraná, where the species has

461 rarely been seen in the latest decades. Recently, Atencio (2020)
462 surveyed *E. corethrus* occurrence through its range of
463 occurrence for two years and only found populations of *E.*
464 *corethrus* in the southernmost Brazilian state, Rio Grande do
465 Sul. Apart from a few online amateur records, other recent
466 records sites of the species are scarce. For this reason, Atencio
467 (2020) suggested that the status of *E. corethrus* be changed for
468 Endangered (EN) in Rio Grande do Sul, and that the species be
469 considered in some risk status in the Red List of Brazil (currently
470 is listed as Data Deficient (DD)) (ICMBio & MMA, 2018).

471 In fact, the major current threat to *E. corethrus* is habitat
472 loss and fragmentation, and these affect *A. sessilifolia* as well.
473 However, the Brazilian conservation system is not compensating
474 for this scenario of extreme loss of habitat in this area (Overbeck
475 *et al.*, 2015). Even in the Pampa conservation units, much of the
476 protected physiognomy is forest; thus, native fields are not
477 adequately represented and only approximately 0.5% of these
478 are within areas of full protection (Overbeck *et al.*, 2007). In the
479 future, with the loss of climatically suitable areas for the
480 butterfly and, more markedly, for the host plant, the effective
481 conservation of the areas where they co-occur is of utmost
482 importance.

483 In conclusion, results corroborated that *A. triangularis* is
484 not used as host plant in Rio Grande do Sul. The possibility that
485 the plant could be used as a host in other marginal regions of the

486 distribution, such as Argentina and Uruguay, could not be ruled
487 out, nor could the use of *A. fimbriata*. However, *A. sessilifolia*
488 seems to have a more important potential impact for the
489 conservation of *E. corethrus*, due to its prevalence in the main
490 region of the butterfly distribution. The distribution of butterfly
491 and plant responded differently to climate change, and
492 contraction of the overlap area between their distributions in
493 future scenarios, was also evidenced. These results highlighted
494 the importance of adding biotic factors, such as host plant
495 distribution, when modeling species distributions for
496 conservation. Habitat loss and climate change act synergistically
497 causing the decline of populations and extinctions of insects
498 worldwide, and this affects the maintenance of entire ecosystems
499 (Cardoso *et al.*, 2020). The findings presented here support the
500 change of *E. corethrus* status in the Brazilian Red List from DD
501 to some risk status, and reinforce the need for conservation
502 systems to pay attention to non-forest ecosystems, such as the
503 subtropical and temperate grasslands of South Brazil, Argentina
504 and Uruguay.

505 This study was supported by CNPq, Conselho Nacional de
506 Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brazil

507 **References**

508 Atencio, G.W.G. (2020) Status de conservação e estruturação
509 populacional de *Euryades corethrus* (LEPIDOPTERA,
510 PAPILIONIDAE) utilizando modelagem de nicho e marcadores

511 moleculares. (Ph.D. Thesis). Federal University of Rio Grande
512 do Sul, University Press, Porto Alegre.

513 Araújo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués-Bravo, D. &
514 Thuiller, W. (2011) Climate change threatens European
515 conservation areas. *Ecology Letters*, **14**, 484-492.

516 Barrientos, R., Kvist, L., Barbosa, A., Valera, F., Khoury, F.,
517 Varela, S. & Moreno, E. (2014) Refugia, colonization and
518 diversification of an arid-adapted bird: coincident patterns
519 between genetic data and ecological niche modelling. *Molecular*
520 *Ecology*, **23**, 390-407.

521 Bedê, L.C., Marini-Filho, O.J., Neto, F.C.C., Ribeiro, F., dos
522 Reis, E.S., do Vale Beirão, M. & Resende, F.O. (2015) *Parides*
523 *burchellanus* (Westwood, 1872) (Lepidoptera, Papilionidae):
524 new distribution records from southwestern Minas Gerais state,
525 Brazil. *Check List*, **11**.

526 Bellaver, J.M. (2019) Efeitos potenciais das mudanças
527 climáticas sobre a distribuição de borboletas neotrópicas e suas
528 plantas hospedeiras. (Ph.D. Thesis). Federal University of Rio
529 Grande do Sul, University Press, Porto Alegre.

530 Bombardi, L.M. (2017) *Geografia do uso de agrotóxicos no*
531 *Brasil e conexões com a União Europeia*. FFLCH-USP, São
532 Paulo, BR.

533 Bond, W.J. & Parr, C.L. (2010) Beyond the forest edge: ecology,
534 diversity and conservation of the grassy biomes. *Biological*
535 *Conservation*, **143**, 2395-2404.

536 Caporale, A., Romanowski, H.P. & Mega, N.O. (2017) Winter
537 is coming: Diapause in the subtropical swallowtail butterfly
538 *Euryades corethrus* (Lepidoptera, Papilionidae) is triggered by
539 the shortening of day length and reinforced by low temperatures.
540 *Journal of Experimental Zoology*, **327**, 182-188.

541 Cardoso, P., Barton, P.S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon,
542 C., Fartmann, T., Fukushima, C.S., Gaigher, R., Habel, J.C.,
543 Hallmann, C.A., Hill, M.J., Hochkirch, A., Kwak, M.L.,
544 Mammola, S., Noriega, J.A., Orfinger, A.B., Pedraza, F., Pryke,
545 J.S., Roque, F.O., Settele, J., Simaika, J.P., Stork, N.E., Suhling,
546 F., Vorster, C. & Samways, M.J. (2020) Scientists' warning to
547 humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, **242**.

548 Carvalho, D.L., Sousa-Neves, T., Cerqueira, P.V., Gonsioroski,
549 G., Silva, S.M., Silva, D.P., & Santos, M.P.D. (2017) Delimiting
550 priority areas for the conservation of endemic and threatened
551 Neotropical birds using a niche-based gap analysis. *PloS ONE*,
552 **12**.

553 Cerasoli, F., Thuiller, W., Guéguen, M., Renaud, J.,
554 D'Alessandro, P. & Biondi, M. (2020) The role of climate and
555 biotic factors in shaping current distribution and potential future

556 shifts of European *Neocrepidodera* (Coleoptera,
557 Chrysomelidae). *Insect Conservation and Diversity*, **13**, 47-62.

558 Cohen, J.M., Lajeunesse, M.J. & Rohr, J.R. (2018) A global
559 synthesis of animal phenological responses to climate change.
560 *Nature Climate Change*, **8**, 224-228.

561 Cunha, H.F., Ferreira, É.D., Tessarolo, G. & Nabout, J.C.
562 (2018). Host plant distributions and climate interact to affect the
563 predicted geographic distribution of a Neotropical termite.
564 *Biotropica*, **50**, 625-632. doi:10.1111/btp.12555.

565 Dennis, R.L., Dapporto, L., & Dover, J.W. (2014) Ten years of
566 the resource-based habitat paradigm: the biotope-habitat issue
567 and implications for conserving butterfly diversity. *Journal of*
568 *Insect Biodiversity*, **2**, 1-32.

569 Dethier, V.G. (1982) Mechanism of host-plant recognition.
570 *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **31**, 49-56.

571 Dolibaina, D.R., Carneiro, E., Dias, F.M.S., Mielke, O.H.H. &
572 Casagrande, M.M. (2010) Registros inéditos de borboletas
573 (Papilionoidea e Hesperioidea) ameaçadas de extinção para o
574 Estado do Paraná, Brasil: novos subsídios para reavaliação dos
575 critérios de ameaça. *Biota Neotropica*, **10**, 75–81.

576 Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017) Worldclim 2: New 1-km
577 spatial resolution climate surfaces for global land areas.
578 *International Journal of Climatology*, **37**, 4302-4315.

579 Freitas, A.V.L., Marini-Filho, O.J., Mielke, O.H.H., Casagrande,
580 M.M., Brown Jr., K.S., Kaminski, L.A., Iserhard, C.A., Ribeiro,
581 D.B., Dias, F.M., Dolibaina, D.R., Carneiro, E., Uehara-Prado,
582 M., Romanowski, H.P., Emery, E.O., Accacio, G.M., Rosa,
583 A.H.B., Bizarro, J.M.S., Silva, A.R.M., Guimarães, M.P., Silva,
584 N.A.P., Braga, L. & Almeida, G. (2018)a *Parides ascanius*.
585 *Livro vermelho de fauna brasileira ameaçada de extinção:*
586 *Volume 7 – Invertebrados*. ICMBio & MMA, Brasília, DF.

587 Freitas, A.V.L., Marini-Filho, O.J., Mielke, O.H.H., Casagrande,
588 M.M., Brown Jr., K.S., Kaminski, L.A., Iserhard, C.A., Ribeiro,
589 D.B., Dias, F.M., Dolibaina, D.R., Carneiro, E., Uehara-Prado,
590 M., Romanowski, H.P., Emery, E.O., Accacio, G.M., Rosa,
591 A.H.B., Bizarro, J.M.S., Silva, A.R.M., Guimarães, M.P., Silva,
592 N.A.P., Braga, L. & Almeida, G. (2018)b *Parides burchellanus*.
593 *Livro vermelho de fauna brasileira ameaçada de extinção:*
594 *Volume 7 – Invertebrados*. ICMBio & MMA, Brasília, DF.

595 Giannini, T.C., Tambosi, L.R., Acosta, A.L., Jaffé, R., Saraiva,
596 A.M., Imperatriz-Fonseca, V.L. & Metzger, J.P. (2015)
597 Safeguarding ecosystem services: a methodological framework
598 to buffer the joint effect of habitat configuration and climate
599 change. *Plos ONE*, **10**.

600 Global Biodiversity Information Facility, GBIF (2019) <
601 <https://www.gbif.org/>> 10th June 2019.

602 Guisan, A., Thuiller, W. & Zimmermann, N.E. (2017) *Habitat*
603 *Suitability and Distribution Models: With Applications in R.*
604 Cambridge University Press, Cambridge, UK.

605 Grice, H., Nunez-Bustos, E., Mega, N., Dias, F.M.S., Rosa, A.,
606 Freitas, A.V.L. & Marini-Filho, O. (2019)a *Euryades corethrus*
607 (amended version of 2018 assessment). *The IUCN Red List of*
608 *Threatened Species 2019.*

609 Grice, H., Freitas, A.V.L., Rosa, A., Marini-Filho, O., Mega, N.,
610 Dias, F.M.S., Mielke, O. & Casagrande, M. (2019)b *Parides*
611 *ascanius* (amended version of 2018 assessment). *The IUCN Red*
612 *List of Threatened Species 2019.*

613 Grice, H., Freitas, A.V.L., Rosa, A., Marini-Filho, O., Dias,
614 F.M.S., Mega, N., Mielke, O. & Casagrande, M. (2019)c *Parides*
615 *burchellanus* (amended version of 2018 assessment). *The IUCN*
616 *Red List of Threatened Species 2019.*

617 Halsch, C.A., Shapiro, A.M., Thorne, J.H., Waetjen, D.P. &
618 Forister, M.L. (2019) A winner in the Anthropocene: changing
619 host plant distribution explains geographic range expansion in
620 the gulf fritillary butterfly. *bioRxiv*. doi: 10.1101/754010.

621 Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & Jarvis, A.
622 (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for
623 global land areas. *International Journal of Climatology*, **25**,
624 1965-1978.

625 ICMBio & MMA (2018) *Livro vermelho de fauna brasileira*
626 *ameaçada de extinção: Volume 1*. Brasília, DF.

627 Klitzke, C.F. & Brown Jr, K.S. (2000) The occurrence of
628 aristolochic acids in neotropical trodine swallowtails
629 (Lepidoptera: Papilionidae). *Chemoecology*, **10**, 99-102.

630 Koh, L.P., Sodhi, N.S., & Brook, B.W. (2004). Co-extinctions
631 of tropical butterflies and their host plants. *Biotropica*, **36**, 272-
632 274. doi: 10.1111/j.1744-7429.2004.tb00319.x.

633 MMA (2019) *Painel unidades de conservação*
634 *brasileiras*. <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjUxMTU0NWtODkyNC00NzNiLWJiNTQtNGI3NTI2NjliZDkzIiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBInyJ9>> 10th May 2020.

638 Mega, N.O., Scalco, V.W., Atencio, G.W.W., de Moraes, A.B.B.
639 & Romanowski, H.P. (2015) *Battus polydamas* (Lepidoptera:
640 Papilionidae) uses the open-field *Aristolochia sessilifolia*
641 (Piperales: Aristolochiaceae) as host plant in Uruguayan savanna
642 areas. *Florida Entomologist*, **98**, 762-769.

643 Molina-Martinez, A., Leon-Cortes, J.L., Regan, H.M., Lewis,
644 O.T., Navarrete, D., Caballero, U. & Luis-Martinez, A. (2016)
645 Changes in butterfly distributions and species assemblages on a
646 Neotropical mountain range in response to global warming and
647 anthropogenic land use. *Diversity and Distributions*, **22**, 1085-
648 1098.

649 Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R.,
650 Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma,
651 M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N.,
652 Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer1, R.J., Thomson, A.M., Weyant,
653 J.P. & Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios
654 for climate change research and assessment. *Nature*, 463, **7282**,
655 747-756.

656 Nascimento, D.S., Cervi, A.C. & Guimarães, O.A. (2010) A
657 família Aristolochiaceae Juss. no estado do Paraná, Brasil. *Acta*
658 *Botanica Brasilica*, **24**, 414-422.

659 Núñez-Bustos, E. (2010) Mariposas de la ciudad de Buenos
660 Aires y alrededores. Vázquez Mazzini, Buenos Aires, AR.

661 Oliver, T.H. & Morecroft, M.D. (2014) Interactions between
662 climate change and land use change on biodiversity: attribution
663 problems, risks, and opportunities. *Wiley Interdisciplinary*
664 *Reviews Climate Change*, **5**, 317-335.

665 Otero, L.S., & Brown Jr, K.S. (1984) Biology and ecology of
666 *Parides ascanius* (Cramer, 1775) (Lep., Papilionidae), a
667 primitive butterfly threatened with extinction. *Atala*, **10**, 2-16.

668 Overbeck, G.E., Müller, S.C., Fidelis, A., Pfadenhauer, J., Pillar,
669 V.D., Blanco, C.C., Boldrini, I.I., Both, R. & Forneck, E.D.
670 (2007) Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos.
671 *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **9**,
672 101-116.

673 Overbeck, G.E., Vélez-Martin, E., Scarano, F.R., Lewinsohn,
674 T.M., Fonseca, C.R., Meyer, Müller, S.C., Ceotto, P., Dadalti,
675 L., Durigans, G., Ganade, G., Gossner, M.M., Guadagnin, D.L.,
676 Lorenzen, K., Jacobi, C.M., Weisser, W.W. & Pillar, V.D.
677 (2015) Conservation in Brazil needs to include non-forest
678 ecosystems. *Diversity and Distributions*, **21**, 1455–1460.

679 Paraná (2004) Lista das espécies animais ameaçados de extinção
680 do estado do Paraná. Decreto nº 3148, de 15 de junho de 2004.

681 Queirolo, D. (2017) Diversidade e padrões de distribuição de
682 mamíferos dos campos do Uruguai e sul do Brasil. *Boletín de la*
683 *Sociedad Zoológica del Uruguay*, **25**, 92-247.

684 Rio Grande do Sul (2014) Espécies de fauna silvestre ameaçadas
685 de extinção do estado do Rio Grande do Sul. Decreto nº 51.797,
686 de 8 de setembro de 2014.

687 Román-Palacios, C. & Weins, J.J. (2020) Recent responses to
688 climate change reveal the drivers of species extinction and
689 survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **117**,
690 4211-4217.

691 Santa Catarina (2011) Lista oficial de espécie ameaçadas de
692 extinção do estado de Santa Catarina. Resolução nº 002, de 06
693 de dezembro de 2011, CONSEMA.

694 Schmitt, S., Pouteau, R., Justeau, D., Boissieu, F. & Birnbaum,
695 P. (2017) SSDM: An r package to predict distribution of species

696 richness and composition based on stacked species distribution
697 models. *Methods in Ecology and Evolution*, **8**, 1795-1803.

698 Schweiger, O., Settele, J., Kudrna, O., Klotz, S. & Kühn, I.
699 (2008) Climate change can cause spatial mismatch of trophically
700 interacting species. *Ecology*, **89**, 3472-3479. doi:10.1890/07-
701 1748.1.

702 Silva, D.P., Andrade, A.F.A., Oliveira, J.P.J., Morais, D.M.,
703 Vieira, J.E.A. & Engel, M.S. (2019) Current and future ranges
704 of an elusive North American insect using species distribution
705 models. *Journal of Insect Conservation*, **23**, 175-186.

706 Soberón, J. (2007) Grinnellian and Eltonian niches and
707 geographic distributions of species. *Ecology Letters*, **10**, 1115-
708 1123.

709 speciesLink Network (2019) < <http://splink.cria.org.br/>> 10th
710 June 2019.

711 Staude, I.R., Vélez-Martin, E., Andrade, B.O., Podgaiski, L.R.,
712 Boldrini, I.I., Mendonça Jr, M., Pillar, V.D., Overbeck, G.E.
713 (2018) Local biodiversity erosion in south Brazilian grasslands
714 under moderate levels of landscape habitat loss. *Journal of*
715 *Applied Ecology*, **55**, 1241-1251.

716 Tourneur, J.-C. & Meunier, J. (2020) Variations in seasonal (not
717 mean) temperatures drive rapid adaptations to novel
718 environments at a continent scale. *Ecology*, **101**. e02973.
719 10.1002/ecy.2973.

720 Tyler, H. A., Brown, K. S. & Wilson, K. H. (1994) *Swallowtail*
721 *butterflies of the Americas. A study in biological dynamics,*
722 *ecological diversity, biosystematics, and conservation.*
723 Scientific Publishers, Gainesville, USA.

724 Weintraub, J. D. 1995. Host plant association patterns and
725 phylogeny in the tribe Troidini (Lepidoptera: Papilionidae).
726 Swallowtail Butterflies: their ecology and evolutionary biology
727 (ed. by Scriber, J.M., Tsubaki, Y. & Lederhouse, R.C.), pp. 307-
728 316. Scientific Publishers, Gainesville, FL.

729 Williams, J.W. & Jackson, S.T. (2007) Novel climates, no
730 analog communities, and ecological surprises. *Frontiers in*
731 *Ecology and the Environment*, **5**, 475-482.

732 Wilson, J.B., Peet, R.K., Dengler, J., & Pärtel, M. (2012) Plant
733 species richness: the world records. *Journal of Vegetation*
734 *Science*, **23**, 796–802.

735

736 Table 1. Occurrences records of *Aristolochia sessilifolia* utilized
 737 in the distributions models. These records were obtained from
 738 Atencio, 2020.

Species	Country	State/Province/ Departament	Latitude	Longitude	Collection year
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Buenos Aires	-34.5875	-58.6725	
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Colon	-31.8787	-58.2693	
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Colon	-31.8688	-58.2084	
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Corrientes	-29.083419	-56.54318	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Rios	-32.91388889	-58.76388889	2008
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Rios	-32.2167	-58.1333	
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Rios	-32.1333	-58.2667	2008
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Rios	-31.853056	-58.3225	1995
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Rios	-31.4	-58.0333	1940
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Ríos	-31.88833333	-56.27166667	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Ríos	-31.88774167	-58.20440833	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Entre Ríos	-31.88753333	-58.2042	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Argentina	Gualeguaychú	-33.066595	-58.267651	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.737127	-52.119141	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.728777	-52.094421	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.7167	-52.1833	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.7167	-51.6333	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.57869444	-52.04536111	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.436996	-51.653362	2008
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.4	-51.68333333	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.385092	-51.486408	1986
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Paraná	-25.3833	-51.45	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-31.771944	-52.342222	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-31.77	-52.33	1962
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-31.7667	-52.3333	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.88	-55.52	2004

<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.86711	-55.52462	2016
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.6667	-51.3833	1971
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.5333	-52.5167	2005
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.523156	-55.072789	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.3666	-51.0333	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.24061	-57.47965	2016
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.166667	-51.216667	1979
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.15696	-54.84107	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.1196	-55.7162	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.119127	-51.237917	1951
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.104308	-51.087090	2018
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.099507	-51.694692	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0977	-55.6847	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0942	-55.6868	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0935	-55.6858	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.086715	-51.094365	1997
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0833	-51.0333	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.081312	-51.189576	1932
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.08	-51.72	2003
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.08	-51.03	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.066763	-51.12285	1944
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.053568	-51.016216	1966
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.05107	-51.176022	1996
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0333	-51.2	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.03	-51.2	1996
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.95	-50.9833	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9333	-51.1833	1936
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.913132	-51.168566	1966
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9	-50.27	2000
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.76	-57.088056	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.75	-57.08	1991
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.75	-51.02	1994
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.727303	-53.850539	2009

<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7167	-52.4333	1958
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.702158	-53.721142	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7	-51.68	1992
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7	-51.47	1995
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7	-51.4667	1977
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.69835	-56.90919	2016
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.6833	-53.8	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.68	-53.8	1955
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.54166667	-53.79166667	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.5391	-53.855124	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.48887	-55.25498	2016
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.488835	-53.685765	2006
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.440523	-51.507747	1940
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.32894	-54.13978	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.32169444	-54.32169444	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.31673	-54.32154	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.297425	-53.68075833	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.2960	-53.78336	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.25532	-54.05788	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.25468333	-54.05468333	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.14528333	-53.64528333	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.13961	-53.65226	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.1333	-56.55	1942
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.11981	-53.45107	2017
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.116025	-53.466025	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.11535	-51.090288	1936
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.05524722	-53.68858056	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.03322222	-53.76655556	2011
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.032185	-53.976810	2014
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.0072	-53.8072	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.97783889	-53.91117222	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.88291667	-54.18291667	2012
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.58186	-55.64873	2017

<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.5705	-55.61827	2016
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.5	-50.9333	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.5	-50.93	1992
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.306578	-51.182981	2015
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.3	-53.5	1959
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-27.9167	-53.2833	1964
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Santa Catarina	-27.45	-49.85	
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Santa Catarina	-27.41666667	-49.6	1945
<i>Euryades corethrus</i>	Brasil	Santa Catarina	-27.3	-50.6	
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai	Guaira	-25.7167	-56.25	
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai	Itapúa	-26.508522	-55.786355	2007
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai		-27.36667	-56.86452	
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai		-27.12	-55.78	
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai		-26.05897	-57.9373	
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai		-25.65494	-56.93311	
<i>Euryades corethrus</i>	Paraguai		-25.42	-54.6	
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Artigas	-30.550657	-57.861821	1959
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Artigas	-30.4	-56.4667	
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Paysandú	-32.3214	-58.0756	
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Rio Negro	-33.1325	-58.2956	
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Salto	-31.3833	-57.9667	
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Salto	-30.935541	-57.531178	2015
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Soriano	-33.2558	-58.0192	1964
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai	Tacuarembó	-31.73	-55.98	2004
<i>Euryades corethrus</i>	Uruguai		-31.22	-57.93	

739

740

741 Table 2. Climatic variables of WorldClim used to build the
 742 projections for the butterfly and host plant in all scenarios.

Species	<i>Euryades corethrus</i>	<i>Aristolochia sessilifolia</i>
Variables	BIO2 - Mean diurnal range BIO4 - Temperature seasonality BIO10 - Mean temperature of warmest quarter BIO11 - Mean temperature of coldest quarter BIO15 - Precipitation seasonality BIO18 - Precipitation of warmest quarter	BIO4 - Temperature seasonality BIO7 - Temperature annual range BIO9 - Mean temperature of driest quarter BIO15 - Precipitation seasonality BIO17 - Precipitation of driest month

743

744 Table 3. Average Area Under the Curve (AUC) values for the four algorithms used to make the projections for *Euryades corethrus* and *Aristolochia*
 745 *sessilifolia*. GLM = General Linear Model; RF = Random Forest; MAXENT = Maximum Entropy; SVM = Support Vector Machine.

	<i>Euryades corethrus</i>					<i>Aristolochia sessilifolia</i>				
	Present	2050 4.5	2070 4.5	2050 8.5	2070 8.5	Present	2050 4.5	2070 4.5	2050 8.5	2070 8.5
GLM	0.948	0.934	0.934	0.937	0.938	0.944	0.954	0.953	0.943	0.957
RF	0.966	0.975	0.972	0.975	0.975	0.975	0.958	0.982	0.975	0.983
MAXENT	0.977	0.974	0.973	0.974	0.974	0.981	0.979	0.981	0.982	0.979
SVM	0.977	0.983	0.953	0.975	0.975	0.979	0.983	0.971	0.979	0.967
Ensemble	0.967	0.967	0.965	0.958	0.965	0.970	0.968	0.970	0.972	0.971

746

747 Table 4. Occurrences records of *Aristolochia sessilifolia* utilized
 748 in the distributions models. These records were obtained from
 749 SpeciesLink, GBIF and Atencio personal communication.

Species	Country	State/Province/ Departament	Latitude	Longitude	Collection Year
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Corrientes	-28.549722	-56.0475	1983
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Corrientes	-28.5167	-56.05	1970
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Corrientes	-28.347222	-55.894722	1981
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Corrientes	-28.158056	-55.6775	2008
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Corrientes	-28.037222	-55.885278	2008
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Entre Rios	-30.6333	-57.9667	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-27.48	-55.92	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-27.38333	-55.9	1922
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-27.38333	-55.58333	1960
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-27.33333	-55.58333	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-27.26666	-55.48333	1997

<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-27.18055	-54.83333	1948
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-26.88	-54.92	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Argentina	Misiones	-26.8	-55.01666	1948
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-31.771900177002	-52.3424987792969	1977
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.343900680542	-53.8828010559082	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.19140053	-52.37360001	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.1914005279541	-52.3736000061035	1993
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.180833	-51.386111	2008
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.113899230957	-51.3250007629395	2003
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.1125	-51.2194	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0942	-55.6868	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0935	-55.6858	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.08	-51.6158	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0771999359131	-51.7291984558105	1983

<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.0331001281738	-51.2299995422363	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-30.031389	-51.221944	1993
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9667	-57.3	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9666	-51.1868	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9591999053955	-51.7221984863281	1979
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9433002471924	-51.7181015014648	1964
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9333	-51.1833	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.918056	-51.183611	2009
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.9178009033203	-51.1836013793945	2001
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.8174991607666	-50.5196990966797	1947
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7996997833252	-51.8643989562988	1944
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.790278	-55.393333	2015
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7831001281738	-55.7919006347656	1990
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.771111	-55.402222	2015

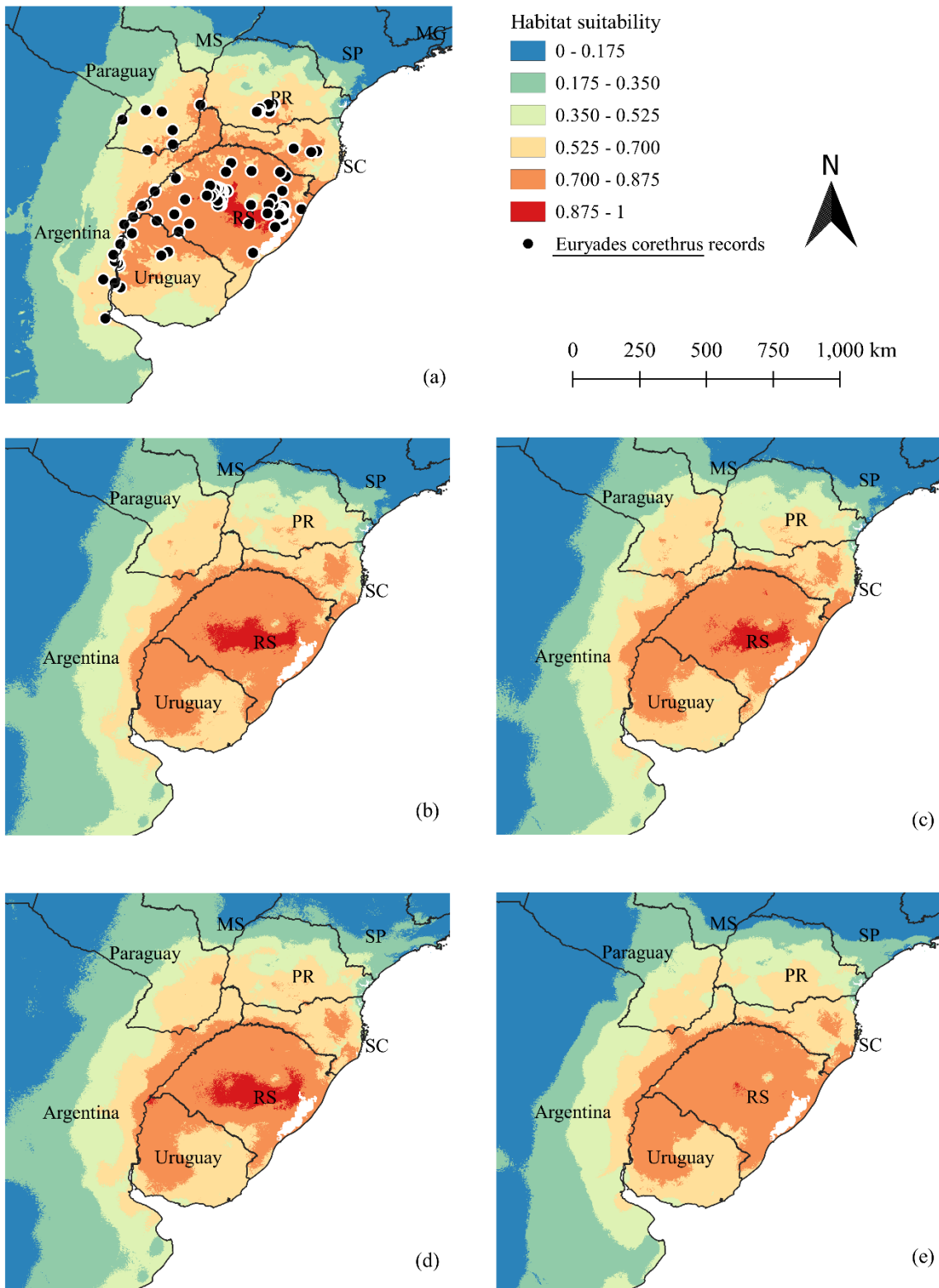
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.7602996826172	-51.1472015380859	1907
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.6886005401611	-51.4611015319824	1946
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.6842002868652	-53.8069000244141	1956
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.591389	-55.368056	2015
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.5503005981445	-55.1310997009277	2015
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.3353004455566	-49.7268981933594	1986
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-29.0806007385254	-53.8358001708984	1969
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.9361000061035	-51.5494003295898	1976
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.872200012207	-52.1753005981445	1982
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.8183002471924	-52.5102996826172	2011
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.671	-55.93	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.6606006622314	-56.0043983459473	1972
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.638599395752	-53.6063995361328	1988
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.5168991088867	-53.9921989440918	1956

<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.449167	-55.2425	2007
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.4232997894287	-53.6557998657227	1954
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.4083003997803	-54.9608001708984	1980
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.3878002166748	-53.9146995544434	1956
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.2992000579834	-54.2630996704102	1975
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.2628002166748	-52.4067001342773	1977
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.2085990905762	-51.5257987976074	1978
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.197	-51.622	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.0536003112793	-51.190299987793	1984
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-28.028299331665	-54.3497009277344	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-27.909	-52.754	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-27.8708000183105	-54.4813995361328	1971
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-27.8553009033203	-52.3018989562988	1996
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-27.689	-54.65	

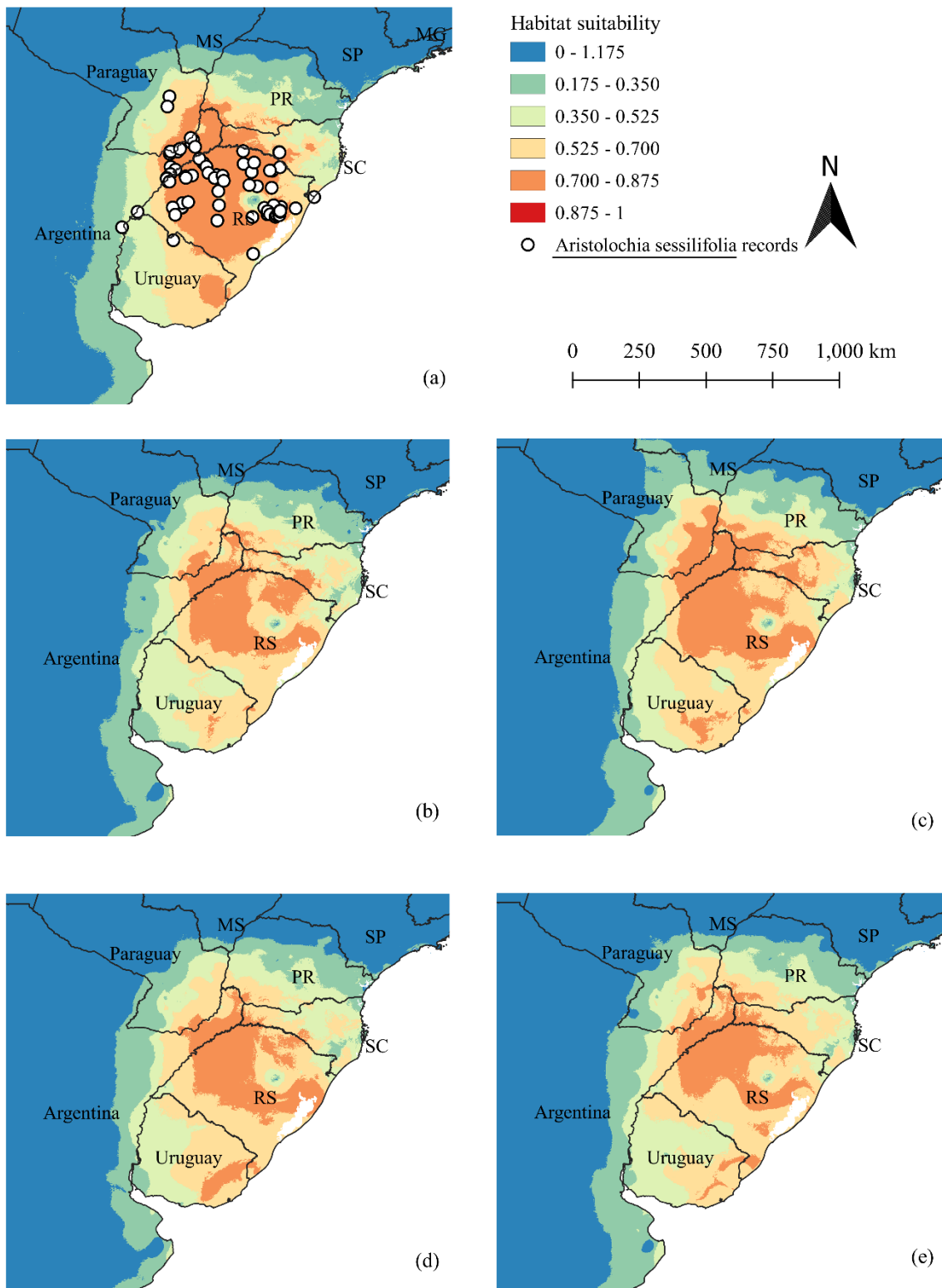
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Rio Grande do Sul	-27.3617000579834	-52.7714004516602	1945
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Santa Catarina	-27.4219	-51.2128	
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Brasil	Santa Catarina	-27.4016990661621	-51.2249984741211	1994
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Paraguai	Caaguazú	-25.45	-56.01666	1951
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Paraguai		-25.01667	-55.93333	1980
<i>Aristolochia sessilifolia</i>	Uruguai	Rivera	-31.19	-55.767	

750

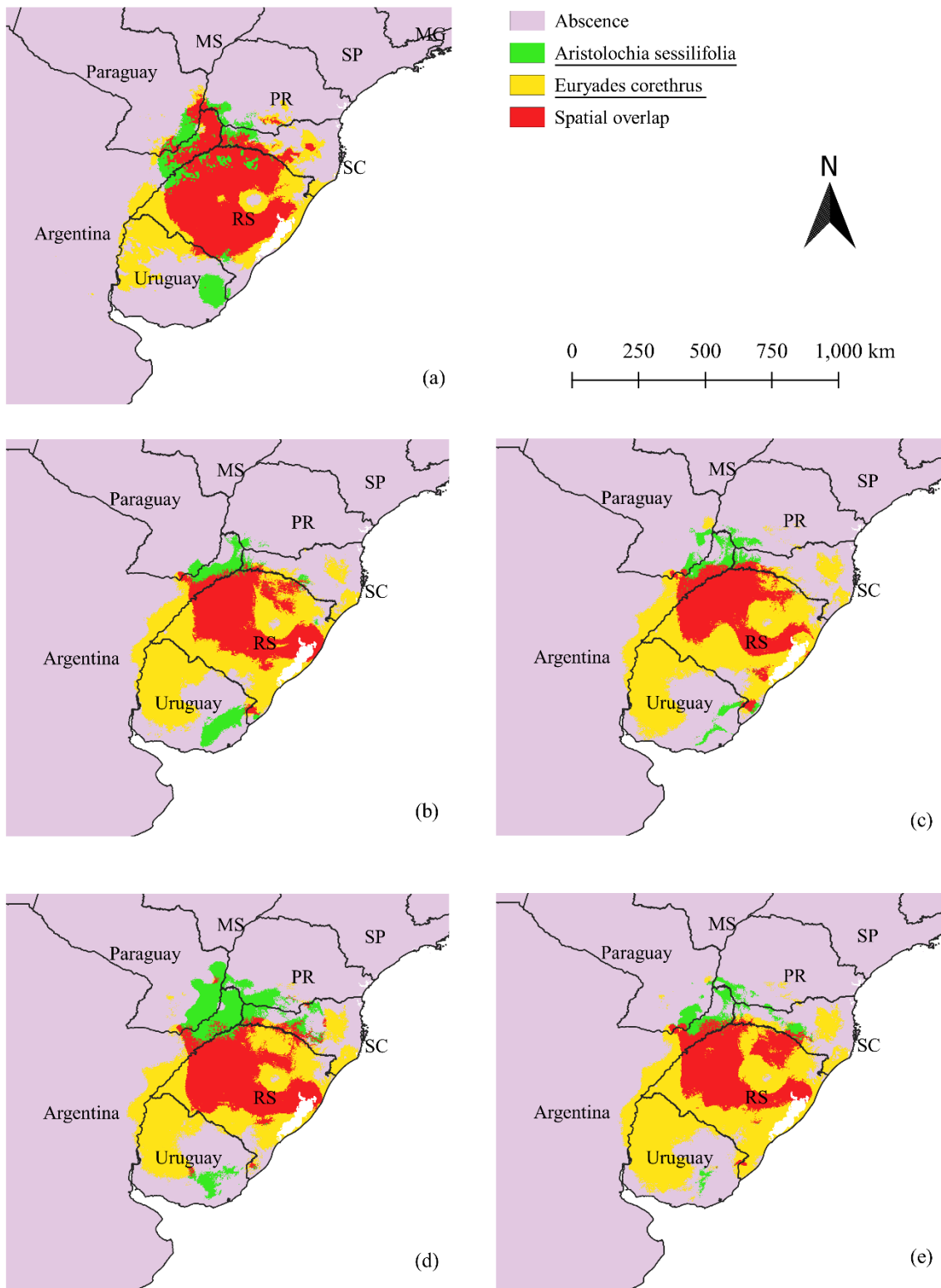
751



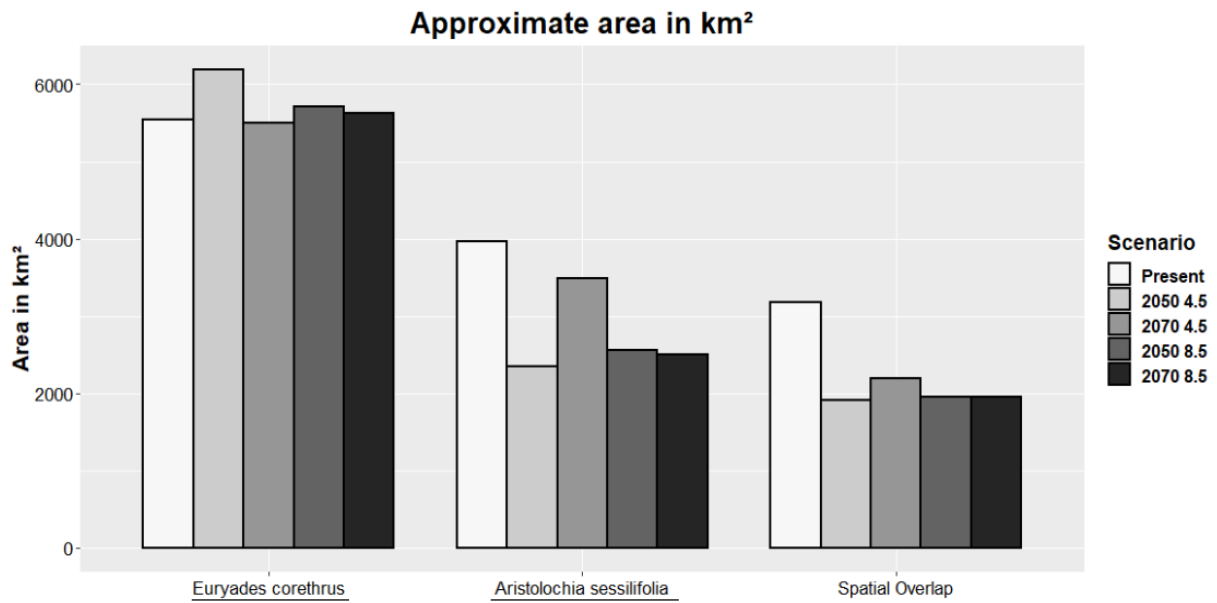
752 Figure 1. Ensembles for *Euryades corethrus* in present scenario
 753 (a); RCP 4.5 scenario for 2050 (b) and 2070 (c); and RCP 8.5
 754 scenario for 2050 (d) and 2070 (e).



755 Figure 2. Ensembles for *Aristolochia sessilifolia* in present
 756 scenario (a); RCP 4.5 scenario for 2050 (b) and 2070 (c); and
 757 RCP 8.5 scenario for 2050 (d) and 2070 (e).



758 Figure 3. Projected distribution for *Euryades corethrus*,
 759 *Aristolochia sessilifolia* and area of spatial overlap between
 760 them in present scenario (a); RCP 4.5 scenario for 2050 (b) and
 761 2070 (c); and RCP 8.5 scenario for 2050 (d) and 2070 (e).



762 Figure 4. Approximate area (km²) of presence in present and
 763 future scenarios, for *Euryades corethrus*, *Aristolochia*
 764 *sessilifolia* and the spatial overlap between them.

Capítulo III - Considerações Finais

Neste estudo evidenciamos que as áreas com maior adequabilidade climática para a ocorrência de *E. corethrus* estão no Rio Grande do Sul. A fim de se obter uma visão mais definida de como as mudanças climáticas poderão afetar a distribuição de *E. corethrus*, consideramos o recurso alimentar dos estágios imaturos na avaliação. Para isso, testamos a capacidade dos imaturos de se alimentar e se desenvolver em *A. triangularis*, uma espécie comum no Rio Grande do Sul e que aparece na literatura como sendo hospedeira de *E. corethrus*. Nenhum dos imaturos testados se alimentou das folhas de *A. triangularis*, morrendo alguns dias após a eclosão do ovo. Portanto, nesta área, *A. sessilifolia* foi a única hospedeira que podemos confirmar o uso. Com isso, se reforça o indicativo de que a principal hospedeira da espécie no Sul do Brasil seja *A. sessilifolia*. Não se pode descartar que a espécie use alguma outra espécie de *Aristolochia* em outras áreas da sua distribuição. Porém, visto que o Rio Grande do Sul é o local com maior número de registros recentes de *E. corethrus*, e com maior área climaticamente adequada pelos nossos modelos, a conservação da espécie parece depender da conservação de *A. sessilifolia*.

Quanto aos impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição da borboleta e da sua hospedeira, vimos que as respostas diferiram. Aparentemente, as áreas climaticamente adequadas para *E. corethrus* não apresentam diminuição considerável nos cenários avaliados. No entanto, as áreas onde a sobreposição entre a potencial ocorrência da borboleta e da sua hospedeira diminuem consideravelmente nos cenários futuros. Isso porque as mudanças climáticas têm um forte impacto sobre as áreas climaticamente adequadas para *A. sessilifolia*, causando redução dessas áreas. Assim, visto que a disponibilidade de recursos é uma parte fundamental do habitat de uma espécie, a consequência é um forte impacto das mudanças climáticas sobre o habitat de *E. corethrus*.

Essas respostas às mudanças climáticas, sem dúvida, não são exclusivas do sistema *E. corethrus* - *A. sessilifolia*. Isso torna evidente como adicionar recursos, como a planta hospedeira, torna as avaliações voltadas para conservação mais sensíveis, ainda mais para espécies aparentemente não afetadas pelas mudanças climáticas.

E. corethrus é uma espécie que já apresenta status de risco de extinção nos três estados da região sul do Brasil, onde ocorre. Apesar disso, não está listada em categoria de risco no Livro Vermelho de Fauna Brasileira Ameaçada, devido à falta de informações disponíveis à época da avaliação, aparecendo como Dados Insuficientes (DD). Considerando que as mudanças climáticas atuam em sinergia com outras sérias ameaças, como perda e fragmentação de habitat, nós reforçamos que medidas de conservação da espécie devem ser tomadas o quanto antes. A região onde a espécie apresenta mais registros recentes, o Pampa gaúcho, é uma área extremamente negligenciada pelo sistema de conservação brasileiro. Formações campestres não tem o mesmo apelo conservacionista que as florestas, e isso se reflete em um descaso com essas áreas. Apesar disso, ecossistemas não florestais, como o Pampa, apresentam uma grande riqueza de espécies.

A maior ameaça ao Pampa é a rápida conversão das suas áreas originais para agricultura (monocultura) e silvicultura. Isso, somado aos reduzidos número e área de unidades de conservação presentes aumenta aceleradamente o risco de perda da biodiversidade do bioma. Essa perda de espécies essenciais para o funcionamento do ecossistema, também afeta serviços ecossistêmicos essenciais. Assim, buscar maneiras de mitigar os impactos que as ações humanas, atuais ou futuros, têm na biodiversidade é fundamental.

Aqui, mostramos que as mudanças climáticas podem afetar o habitat uma espécie já em risco de extinção, e, aparentemente, localmente especialista, através do impacto no

recurso alimentar dos imaturos. Borboletas são ótimas espécies indicadoras, refletindo os efeitos que muitas outras espécies também sofrem mediante modificações no ambiente em que ocorrem. Investindo esforços para conservação da borboleta, estaríamos impactando positivamente diversas outras espécies e ecossistemas, que, de maneira similar a *E. corethrus*, ocorrem nos campos nativos subtropicais e temperados e do hemisfério Sul, são ameaçadas pela destruição de hábitat e serão, adicional e sinergicamente, potencialmente afetadas pelas mudanças climáticas.