



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
Capítulo III - Considerações Finais	23

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.

**Capítulo II – Artigo a ser submetido a
revista Insect Conservation and
Diversity**

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.