

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS
ESPÉCIES QUARENTENÁRIAS *Steneotarsonemus spinki* Smilley, 1967 e
Brevipalpus chilensis Baker, 1949 PARA O BRASIL

Raquel Bottini de Moura
Bióloga/URCAMP
Mestre em Fitotecnia/UFRGS

Tese apresentada com um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Área de Concentração Sanidade Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Dezembro de 2020

CIP - Catalogação na Publicação

Bottini de Moura, Raquel
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS
ESPÉCIES QUARENTENÁRIAS *Steneotarsonemus spinki*
Smilley, 1967 e *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949
PARA O BRASIL / Raquel Bottini de Moura. -- 2020.
92 f.
Orientadora: Ana Paula Ott.

Coorientador: Francisco Cândido Cardoso Barreto.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2020.

1. Acarologia. 2. Mudanças Climáticas. 3.
Quarentenárias. 4. Modelagem. I. Ott, Ana Paula,
orient. II. Cardoso Barreto, Francisco Cândido,
coorient. III. Título.

RAQUEL BOTTINI DE MOURA
BIÓLOGA - URCAMP
Mestre em FITOTECNIA - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR (A) EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 22.12.2020
Pela Banca Examinadora

NOME
Orientador(a) -
UFRGS

ANA PAULA OTT
Professor (a) do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

NOME MEMBRO 1
UFRGS

Simone Mundstock Jahnke
Professor (a) do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

NOME MEMBRO 2
UFPe1

Uemerson S. da Cunha
Professor do Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia

NOME MEMBRO 3
UERGS

Marlon de Castro Vasconcelos
Professor de Ecologia
Faculdade de Agronomia

Aos meus pais, irmã, filhos e esposo, com amor, OFEREÇO.

A Antonio Gabriel de Moura e
Cleuza Jozina Bottini de Moura
In memoriam
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda sua infinita misericórdia, dando-me forças, renovando minha fé e esperança, tornando possível o final desta etapa e início de muitas outras.

Aos meus pais, Antonio e Cleuza Moura e irmã Gabriela por todo carinho, educação, exemplo e incentivo que levo comigo a cada minuto de minha vida, pois sem vocês esta vitória seria impossível.

À luz dos meus dias, meu fator de força, de valor inestimável, raro, valioso e insubstituível, meus filhos, Luiza Helena e Filipi, obrigada por colorirem meus dias...

Ao meu Amor, meu porto seguro, Waltirley Ferreira, minha gratidão por ser quem me apoia, protege, incentiva, meu sol, sorriso...caminho a seguir!!! Sem você essa conquista não seria possível.

Aos meus padrinhos, Jair e Ivone Bottini, que sempre estiveram presentes em minha vida com a palavra amiga, minha eterna gratidão por tudo que vocês significam para mim e por todo amor e carinho que sempre recebi.

A minha orientadora Ana Paula Ott, que durante esta caminhada forneceu pacientemente seu precioso tempo para responder minhas inquietações. Agradeço pela amizade, compreensão e pela força quando eu mais precisei. Aqui lhe exprimo a minha gratidão.

Ao Meu Coorientador Francisco Candido C. Barreto, pela orientação prestada, acolhida, incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstrou durante esta jornada, minha gratidão.

A minha amiga e colega, Fernanda Bertolo, pelo companheirismo, incentivo, apoio, horas de descontração únicas e por toda ajuda nos momentos difíceis e dolorosos enfrentados durante esta jornada, minha eterna gratidão.

A minha amiga inestimável, Vivian Amaral, por estar sempre presente, sendo a voz de ânimo, incentivo, carinho e por me mostrar com suas atitudes que ainda existem pessoas em que se pode confiar. Você faz parte desta conquista, obrigada por tudo.

A Rosane Silva e Vera Silva, amigadas que a vida me deu, que durante esta caminhada foram pessoas ímpares... minha gratidão por tudo que fizeram e fazem por mim.

Aos colegas do Laboratório de Acarologia, pelos momentos de reflexão e companheirismo.

Ao Bernardo, por toda atenção e disponibilidade de sempre.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento e finalização deste estudo.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES QUARENTENÁRIAS *Steneotarsonemus spinki* Smilley, 1967 e *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949 PARA O BRASIL¹

Autora: Raquel Bottini de Moura

Orientadora: Prof. Ana Paula Ott

Coorientador: Prof. Francisco Candido Cardoso Barreto

RESUMO

Os ácaros estão entre os organismos que apresentam expressão de pragas quarentenárias, visto a grande expressividade de ameaças aos sistemas agro-silvo pastoris sendo a dinâmica de interações com o meio ambiente fortemente afetada pelas mudanças climáticas. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto das mudanças climáticas na distribuição potencial dos ácaros quarentenários *Steneotarsonemus spinki* e *Brevipalpus chilensis* no Brasil, identificando as variáveis ambientais que influenciam este processo. Os modelos foram gerados usando o algoritmo de Máxima Entropia (Maxent) com base em registros de ocorrência independentes e variáveis bioclimáticas sob três cenários: Presente, futuro otimista RCP 2.6 (otimista 2080-2100), futuro pessimista RCP8.5 (pessimista 2080-2100) do IPCC5. Os modelos foram validados por meio do índice AUC e a influência das variáveis sobre a distribuição das espécies foi avaliada por meio do teste Jackknife. Os modelos apresentaram excelente desempenho, visto que os índices AUC variaram entre 0,824 a 0,886. Os mapas resultantes preveem áreas de ocorrência abrangente para a espécie no presente e para os modelos futuros ocupação de novas áreas. Ao avaliar se as diferenças observadas nas áreas previstas como adequadas à presença da espécie são ou não devidas ao acaso, observou-se que há diferenças, sugerindo que essas possam ser causadas pelas modificações climáticas relacionadas às camadas ambientais utilizadas na geração dos modelos. Os resultados dos modelos indicam a real interferência das mudanças climáticas na distribuição das espécies, com a ampliação de habitats apropriados. O risco de estabelecimento das espécies no Brasil existe e poderá ser agravado pela disponibilidade de plantas hospedeiras adequadas e a capacidade das espécies em adotar hospedeiros alternativos.

Palavras chave: Mudanças Climáticas, Maxent, *Brevipalpus Chilensis*, *Steneotarsonemus spinki*.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (92f.) Dezembro, 2020.

**CLIMATE CHANGE AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF
QUARENTENARY SPECIES *Steneotarsonemus spinki* Smilley, 1967 and
Brevipalpus chilensis Baker, 1949 FOR BRAZIL²**

Author: Raquel Bottini de Moura

Adviser: Prof. Ana Paula Ott

Co-adviser: Prof. Francisco Candido Cardoso Barreto

ABSTRACT

The mites are among the organisms that present expression of quarantine pests, given the great expressiveness of threats to pastoral agro-forest systems and the dynamics of interactions with the environment strongly affected by climate change. The aim of this study was to evaluate the impact of climate change on the potential distribution of quarantine mites *Steneotarsonemus spinki* and *Brevipalpus chilensis* in Brazil, identifying the environmental variables that influence this process. The models were generated using the Maximum Entropy algorithm (Maxent) based on independent occurrence records and bioclimatic variables under three scenarios: Present, optimistic future RCP 2.6 (optimistic 2080-2100), pessimistic future RCP8.5 (pessimist 2080-2100) of the IPCC5. The models were validated using the AUC index and the influence of variables on species distribution was assessed using the Jackknife test. The models showed excellent performance, since the AUC indices ranged from 0.824 to 0.886. The resulting maps foresee areas of extensive occurrence for the species in the present and for the future models occupation of new areas. When assessing whether the differences observed in the predicted areas as suitable for the presence of the species are due to chance or not, it was observed that there are differences, suggesting that these differences may be caused by climatic changes related to the environmental layers used in the generation of the models. The results of the models indicate the real interference of climate change in the distribution of species, with the expansion of appropriate habitats. The risk of species establishment in Brazil exists and may be exacerbated by the availability of suitable host plants and the species' ability to adopt alternative hosts.

Keywords: Climatic Changes, Maxent, *Brevipalpus Chilensis*, *Steneotarsonemus spinki*.

²Doctoral Thesis in Plant Science in, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (92p.) December, 2020.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 Impacto das mudanças climáticas no ambiente agrícola | 3 |
| 2.2 Culturas de Interesse Econômico no Brasil: Arroz e Uva | 6 |
| 2.2.1 Arroz..... | 6 |
| 2.2.2 Videira..... | 7 |
| 2.3 Ácaros de importância quarentenária para as culturas do arroz e videira .. | 8 |
| 2.3.1 Ácaros fitófagos..... | 9 |
| 2.3.2 <i>Steneotarsonemus spinki</i> Smiley, 1967..... | 9 |
| 2.3.3 <i>Brevipalpus chilensis</i> Baker, 1949 | 13 |
| 2.4 Modelagem de distribuição de espécies | 17 |
| 2.4.1 A modelagem de nicho ecológico..... | 18 |
| 2.4.2 Dados usados em modelagem | 21 |
| 2.4.3 Métodos de modelagem..... | 22 |
| 2.4.4 Etapas da modelagem | 23 |
| 2.4.5 Uso de modelos aplicados a ácaros de importância agrícola..... | 23 |
| 2.5 Referências | 26 |
| 3 ARTIGO 1 – EFFECT OF FUTURE CLIMATE CHANGES ON THE DISPERSION OF THE QUARANTINE MITE, STENEOTARSONEMUS SPINKI SMILEY, 1967 IN BRAZIL* | 38 |
| 3.1 Introduction..... | 39 |
| 3.2 Material and Methods | 40 |
| 3.3 Results and discussion | 44 |
| 3.4 Conclusions..... | 48 |
| 3.5 References..... | 49 |

| | Página |
|---|--------|
| 3.6 Annexes | 53 |
| 3.7 Appendices | 55 |
| 4 ARTIGO 2 – CLIMATE CHANGE IN THE CURRENT AND FUTURE DISTRIBUTION OF QUARANTINE MITE, <i>BREVIPALPUS</i> CHILENSIS BAKER, 1949 IN SOUTH AMERICA* | 60 |
| 4.1 Introduction | 61 |
| 4.2 Materials and Methods | 63 |
| 4.3 Results and Discussion | 66 |
| 4.4 Conclusions | 70 |
| 4.5 References | 71 |
| 4.6 Annexes | 76 |
| 4.7 Appendices | 77 |
| 5 CONCLUSÕES GERAIS | 80 |

RELAÇÃO DE TABELAS

| | Página |
|--|--------|
| ARTIGO 2 | |
| TABLE 1. Database of <i>Steneotarsonemus spinki</i> (Rice mite) used to generate the models. | 53 |
| TABLE 2. Bioclimatic variables provided by WorldClim. In bold the variables used in this study. | 55 |
| TABLE 3. Performance evaluation of models generated by Maxent. | 56 |
| TABLE 4. Areas foreseen as adequate in Km ² for each modeled time. | 56 |

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

ARTIGO 1

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 – <i>Steneotarsonemus spinki</i> (A) fêmea, (B) macho, (C) larva, (D) ovos. Imagens: E. Erbe, USDA-ARS EMU. | 11 |
| FIGURA 2 – <i>Steneotarsonemus spinki</i> fêmea (A) apodema II forte; <i>Steneotarsonemus konoii</i> fêmea (B) apodema II delgado; <i>S.spinki</i> macho (C) perna IV com seta v’G e and v’Ti longas; <i>S.konoii</i> macho (D) histereossoma ventral com reticulações..... | 12 |
| FIGURA 3 – <i>Steneotarsonemus spinki</i> danos às plantas de arroz. (A) planta inteira com cascas e caules descoloridos (B), (C) Lesões alimentares nas bainhas das folhas. (D) Descoloração no interior do bainha de folha. | 13 |
| FIGURA 4 – <i>Brevipalpus chilensis</i> , fêmea adulta. | 15 |
| FIGURA 5 – <i>Brevipalpus chilensis</i> , prodorso de fêmea adulta (Imagem: Gary Bauchan, USDA-ECMU)..... | 15 |
| FIGURA 6 – <i>Brevipalpus chilensis</i> , dorso deutoninfa. | 16 |
| FIGURA 7 – Danos causados pelo ácaro <i>B. chilensis</i> em videiras. A. descoloração; B. diminuição do tamanho dos brotos..... | 17 |
| FIGURA 8 – Representação esquemática - Diagrama de "BAM" - fatores fundamentais que afetam a distribuição geográfica de uma espécie e sua dinâmica no tempo..... | 19 |
| FIGURA 9 – Representação esquemática do processo de Modelagem de Nicho Ecológico..... | 21 |

ARTIGO 2

| | |
|---|----|
| FIGURE 1. Model of environmental suitability for the future within the pessimistic scenario (RCP 8.5) generated in the Maxent algorithm for the species <i>Steneotarsonemus spinki</i> . The area estimated as adequate by the model, after applying the cut limit is 13,072,500 km ² | 56 |
|---|----|

FIGURE 2. Model Environmental suitability for the future within the optimistic scenario (RCP 2.6) generated in the Maxent algorithm for the species *Steneotarsonemus spinki*. The area estimated as adequate by the model, after applying the cut limit is 4,897,500 km². 57

FIGURE 3. Model Environmental suitability for the future within the pessimistic scenario (RCP 8.5) generated in the Maxent algorithm for the species *Steneotarsonemus spinki*. The area estimated as adequate by the model, after applying the cut limit is 13.072.500 km². 58

FIGURE 4. Contribution of each variable to the construction of models based on Jackknife, where (a) present model, (b) RCP 2.6 and (c) CCSM RCP 8.5..... 59

1 INTRODUÇÃO

A modelagem da distribuição de espécies é um método da biogeografia que estima a distribuição geográfica potencial de determinada espécie baseada em características ambientais, porém a maior parte do conhecimento atual sobre diversidade e distribuição geográfica de organismos é baseada em alguns táxons, particularmente animais vertebrados. Alguns grupos de animais, como os artrópodes, vêm sendo negligenciados em estudos biogeográficos e taxonômicos, embora englobem a maior parte da diversidade animal.

Uma das maneiras da pesquisa científica subsidiar as políticas públicas de defesa agropecuária e ou sanidade vegetal para minimizar o risco de introdução de pragas exóticas nos sistemas produtivos agrícolas é por meio do estabelecimento do potencial geográfico das pragas quarentenárias ou de espécies exóticas invasoras.

Conhecer a distribuição e o comportamento das espécies com potencial e das que são pragas é de suma relevância para a agricultura, visto que mesmo uma espécie não sendo considerada praga importante para uma determinada cultura em uma região, não significa que ela nunca representará uma ameaça. Isso se deve ao fato de que o comportamento biológico e reprodutivo de uma espécie pode variar de acordo com as condições do ambiente.

Até o presente momento não se tem informações sobre a distribuição atual e futura de *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949 (Prostigmata: Tenuipalpidae), para a cultura da uva no Brasil e para a espécie *Steneotarsonemus spinki* Smiley, 1967 (Prostigmata: Tarsonemidae) praga do arroz há estudo sobre projeções em cenários atuais, porém não em cenários futuros. Desta forma, as informações geradas através deste estudo serão utilizadas para determinar as áreas de clima favoráveis para a distribuição atual e futura das espécies de ácaros pragas baseado em previsões de mudanças climáticas.

Para contribuir com o desenvolvimento de estratégias de vigilância, quarentena e controle mais precisas para espécies pragas de ácaros nas culturas do arroz e uva, este

estudo visa estimar a distribuição geográfica potencial destes ácaros, utilizando o algoritmo Maxent

Os objetivos do presente trabalho foram conhecer a distribuição potencial das espécies de ácaros pragas quarentenários ausentes no Brasil, *Brevipalpus chilensis* na cultura da videira e *Steneotarsonemus spinki*, na cultura do arroz nos cenários de mudanças climáticas atuais e futuras e apontar áreas geográficas que apresentem condições bioecológicas favoráveis à presença de espécies dos ácaros nas culturas estudadas e identificar as variáveis ambientais que influenciam as suas distribuições.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impacto das mudanças climáticas no ambiente agrícola

Desde a década de 1970, a problemática das mudanças climáticas tem despertado crescente interesse da comunidade científica e do público, constituindo um dos temas mais polêmicos e preocupantes da atualidade. Em 1988, a World Meteorological Organization (WMO) e a United Nations Environment Programme (UNEP) criaram o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), composto por uma vasta rede de pesquisadores de diversos países com a finalidade de avaliar o conhecimento científico sobre as mudanças climáticas e suas relações com a sociedade (Ghini, 2011).

As mudanças climáticas têm se manifestado de diversas formas, dentre as quais se destaca o aquecimento global, eventos climáticos extremos (observadas com maior frequência e intensidade), alterações no regime de chuvas, perturbações nas correntes marítimas, retração de geleiras e elevação do nível dos oceanos. O termo “mudança ambiental global” envolve essa ampla gama de eventos, incluindo o aumento da concentração de CO² atmosférico, de ozônio (O³) na troposfera (da superfície do planeta até 10 km de altura) e outros impactos, assim como o conceito de que interações complexas estão ocorrendo entre o ambiente físico e o biológico (Coakley, 1995).

O ambiente pode influenciar o crescimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a disseminação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre a planta hospedeira e o patógeno. Por esse motivo, as mudanças climáticas constituem uma séria ameaça à agricultura, pois podem promover significativas alterações na ocorrência e severidade de doenças de plantas. Tais alterações podem representar graves impactos das mudanças climáticas sobre as plantas com consequências econômicas, sociais e ambientais. A análise desses efeitos é fundamental para a adoção de medidas de adaptação, com a finalidade de evitar prejuízos futuros (Ghini; Hamada, 2008).

Nas atividades agrícolas, o clima é considerado um elemento de grande importância, pois exerce influência direta sobre todos os estágios da produção agrícola, desde a preparação da terra até a comercialização, e também sobre a incidência de pragas e doenças que atacam as lavouras, as quais, segundo Nakano (1991), podem comprometer não somente a safra pendente como também as futuras, chegando ao extremo de destruir totalmente uma cultura. Segundo Ayoade (1986), as perdas periódicas ou sazonais das lavouras indicam que as condições de tempo e clima possuem importante papel em relação à incidência de pragas e doenças. Assim, dentre as variáveis meteorológicas, o vento ajuda no transporte de germes e esporos de uma área para outra. Também alguns vírus causadores de doenças são transmitidos ou difundidos por insetos, de modo que as condições climáticas favoráveis à propagação desses vetores são as que facilitam a transmissão de tais doenças.

No Brasil, as mudanças climáticas ameaçam a agricultura significativamente. Enquanto o aumento da produtividade agrícola é fortemente impulsionado por avanços tecnológicos, o aumento de temperatura, mudanças na quantidade e distribuição de chuvas, e o aumento das secas representa um risco significativo para o setor. Esses riscos climáticos ameaçam a disponibilidade de terras e contribui para a intensificação da agricultura, impulsionando ainda mais o desmatamento e levando à erosão do solo e a deterioração (United States Agency International Development, 2018).

Embora estes impactos que atuam nas espécies variem geograficamente, conforme Thomas *et al.* (2004), um importante determinante da resposta biológica às mudanças climáticas é o grau de aquecimento *per se*, que irá continuar a ser maior em altas latitudes (Metz *et al.*, 2007). Também relevante, é a sensibilidade fisiológica dos organismos às mudanças de temperatura em seu ambiente (Bernardo *et al.*, 2007).

A temperatura ambiental atua em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos em animais ectotérmicos e portanto, é um dos fatores mais importante dentre outros complexos componentes do ambiente que ditam a sua sobrevivência e dispersão. Isto certamente é verdade para artrópodes que constituem boa parte da biodiversidade da fauna terrestre, de acordo com Wilson (2010), e desenvolveram uma gama de adaptações comportamentais, fisiológicas e bioquímicas para suportar a exposição sazonal, tanto diária quanto anual, a flutuações agudas de temperatura (Overgaard *et al.*, 2008).

Neste aspecto, alguns estudiosos como Deutsch *et al.* (2008), Parmesan (2006) e Sunday, Bates e Dulvy (2010), sugerem que os efeitos do aquecimento global sobre populações de artrópodes tendem a ser mais pronunciados nas regiões tropicais onde a

diversidade biológica é maior. Igualmente importante salientar é que a faixa de temperatura ótima que varia entre as espécies e as oscilações térmicas podem causar alterações nas propriedades estruturais e fisiológicas dos organismos (Hochachka; Somero, 2002). As faixas de segurança em que um organismo pode atuar podem ser deduzidas da diferença entre a temperatura crítica e real ou das previstas para o campo (Lutterschmidt; Hutchison, 1997).

Em vista disso, as mudanças climáticas apresentam uma séria ameaça ao cenário fitossanitário brasileiro, com efeitos diretos e indiretos, tanto sobre os patógenos quanto sobre as plantas hospedeiras, e na interação de ambos (Chakraborty, 2005). Outrossim, poderá haver maior potencial de estabelecimento de patógenos quarentenários, conseqüentemente novas doenças poderão surgir em determinadas regiões e outras poderão perder sua importância econômica caso haja deslocamento das áreas de cultivo (Coakley, 1995).

Alguns estudos analisaram os impactos das mudanças climáticas em relação a produção agrícola, conforme destacado por Dai *et al.* (2015), Mendelsohn (1994), Mendelsohn e Dinar (2009) e Schlenker, Hanemann e Fisher (2003), onde o impacto das mudanças climáticas na produção agrícola pode diferir dependendo da adoção de estratégias adaptativas agronômicas - alterações em variedades e espécies de culturas, época das operações e gestão da terra, incluindo irrigação; e adaptações econômicas - investimento em novas tecnologias, infra-estrutura e mão-de-obra. Estas análises sugerem que a aplicação das estratégias agronômicas e econômicas podem compensar parcial ou totalmente as perdas de produtividade causadas pelas mudanças climáticas. Dentre os fatores que interferem na produção da agricultura, as mudanças climáticas têm ganho destaque, visto que podem causar vários impactos negativos principalmente no que se refere ao aumento na temperatura média e na intensidade de frequência dos eventos extremos, como precipitação intensa e secas prolongadas. Os principais fatores que contribuem para esse cenário são as mudanças no uso e cobertura da terra, desmatamentos e urbanização (Maia; Miyamoto; Garcia, 2018).

As tendências climáticas observadas nas últimas décadas estão promovendo mudanças de vegetação, alterações fenológicas e modificações nos regimes de chuvas, bem como a alteração das interações entre esses processos, fatores que afetam diretamente não só a agricultura, mas toda as complexas interações bióticas, segundo Pérez Navarro *et al.* (2018), além disso se infere que as mudanças climáticas tem diferentes impactos em

distintas partes do mundo, atingindo principalmente a produtividade primária líquida (Zilli *et al.*, 2020).

2.2 Culturas de Interesse Econômico no Brasil: Arroz e Uva

2.2.1 Arroz

O surgimento das gramíneas ocorreu na Era Mesozóica e evidências sugerem que o clima era tropical e que a partir de então várias linhagens evoluíram e adaptaram-se a várias habitats. Evidências apontam que o arroz asiático (*Oryza sativa* L.) seja originário da Ásia, no Sul da Índia onde encontrava-se as condições ideais para o seu desenvolvimento e cultivo (Barbieri; Stumpf, 2008).

No Brasil, a presença do arroz data do descobrimento do país. Estudos indicam que o arroz cultivado e consumido, antes da chegada dos portugueses, não se tratava de *Oriza sativa* originário da Ásia, mas de espécies nativas da América do Sul (Barbieri; Stumpf, 2008).

Pertencente à Divisão Angiosperma, Classe Monocotiledônea, Ordem Glumiflora, Família Poaceae, Subfamília Oryzoideae, tribo Oryzæ, e gênero *Oryza*. O arroz, taxonomicamente, engloba duas tribos de importância alimentar, que são *Zizaniæ* e *Oryzæ*. A tribo *Oryzæ*, que contém o gênero *Oryza* é composta por aproximadamente 23 espécies distribuídas na Ásia, América do Sul, América Central, África e Austrália. Dentro deste gênero a espécie mais cultivada é *Oryza sativa* (L.) (RodrigueS *et.al*, 2015).

Existem diversas escalas fenológicas para a cultura do arroz, sendo a mais usada a proposta por Counce, Keisling e Mitchell (2000), a qual subdivide o crescimento e desenvolvimento da planta em três subperíodos: desenvolvimento da plântula, vegetativo e reprodutivo. Os estádios do desenvolvimento da plântula são identificados pela letra S e por um número que varia de 0 a 3; os estádios vegetativos são identificados pela letra V e por um número que varia de 1 a n. A partir da iniciação da panícula (IP), a escala utiliza a letra R (reprodutivo) associada a um número, que varia de 1 a 9. Esse número indica o estágio de desenvolvimento em que se encontram os grãos. Cada estágio e os números totais de folhas desenvolvidas podem variar entre cultivares, estações de crescimento, épocas de semeadura e as condições edafoclimáticas das regiões de cultivo (Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2018).

A adaptabilidade do arroz às diversas regiões do mundo permite que as várias cultivares fosse difundidas tanto em solos alagados quando em solos bem drenados,

suportem as mais diversas condições edafoclimáticas e bióticas (Fageria; Baligar; Jones, 2011). Ainda destaca-se pela produção e área de cultivo, desempenhando papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social, sendo cultivado e consumido em todos os continentes (Barbosa; Waldrich, 2008).

Para safra 2019/2020 a colheita do arroz não registrou grandes perdas, pois todo período ocorreu quase sem registro de precipitações, iniciando na segunda quinzena de fevereiro e finalizando em meados de maio (Instituto Rio Grandense do Arroz, 2020). Alguns problemas ambientais tem sido responsáveis por perdas na produtividade orizícola, cita-se pragas, manejo da cultura compactação, erosão de sedimentos, a poluição por agrotóxicos, a economia baseada em uma monocultura e os conflitos pelo uso da água, assim como modificações climáticas (Costo, 2020).

2.2.2 Videira

Sousa (1969) considera que a origem da videira se deu na Groenlândia, visto que é a única região na qual se encontraram fósseis deste grupo vegetal. Por outro lado, Pommer (2003), segundo evidências fósseis de folhas e sementes de uva, sugere que a videira floresceu no período terciário, na Alemanha, França, Inglaterra, Islândia, Groenlândia, América do Norte e Japão, após estendendo-se para o Sul e alcançando distribuição por extensa área. Para Giovannini (2008) o surgimento do gênero *Vitis* foi na Era Cenozóica, no período Terciário, ocorrendo no mesmo período o desenvolvimento de espécies americanas como *Vitis labrusca* L. e de espécies eurásianas e asiáticas como *Vitis vinifera* L., formando assim os três centros de origem da videira: América, Eurásia e Ásia. E para Creasy e Creasy (2009) a origem do cultivo de *Vitis vinifera* L. deu-se provavelmente ao Sul na Caucásia, hoje ocupada pelo nordeste da Turquia, norte do Iraque.

Taxonomicamente, a videira pertence à divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Rosidae, ordem Rhamnales, família Vitaceae, com 12 gêneros sendo *Vitis* o único com importância econômica, social e histórica, pertencendo a ele todas as videiras, silvestres e cultivadas (Barbieri; Stumpf, 2008).

Em questões fenológicas das variedades o genótipo e as condições climáticas de cada região produtora, são os fatores chaves. As situações fenológicas normalmente observadas em condições de campo são brotação, floração, frutificação, crescimento da baga, mudança de cor, amadurecimento, murchamento, queda das folhas e repouso

(Fischer; Almanza Merchán; Serrano Cely, 2012). O ciclo vegetativo da videira é subdividido em vários períodos: período de crescimento; período reprodutivo e o período de amadurecimento dos tecidos, existindo uma interdependência entre eles (Maciel, 2017). No Sul do Brasil, a viticultura apresenta padrão fenológico anual da videira similar àquele encontrado na viticultura de clima temperado das regiões tradicionais do mundo, com um ciclo vegetativo por ano – uma colheita, portanto, seguido do período vegetativo da videira (Camargo; Tonietto; Hoffmann, 2011).

As uvas da espécie *Vitis vinifera* L. necessitam de inverno frio, primavera com temperaturas amenas e verão quente e seco para produzir uvas com índices de maturação adequados (Santos *et al.*, 2011). No Rio Grande do Sul, principalmente na fronteira com o Uruguai, região promissora para cultivo de videiras destinadas à produção de vinhos finos, apresenta essas condições climáticas. A produtividade da videira está diretamente relacionada ao clima, onde algumas regiões podem apresentar queda de produtividade em razão das alterações climáticas, conforme informado por Costo (2020), adicionado a outros aspectos como práticas culturais, nutrição mineral, disponibilidade hídrica, pragas e doenças.

2.3 Ácaros de importância quarentenária para as culturas do arroz e videira

Os ácaros pertencem ao Filo Arthropoda, Classe Arachnida (gr. Arachne = aranha) que inclui as aranhas, escorpiões, pseudo-escorpiões e afins, e ao Subfilo Chelicerata (gr. Chele = garra + Keros = corno). Constituem um grupo de pequenos invertebrados que podem ser encontrados praticamente em todo o planeta, colonizando com sucesso os ambientes terrestre e aquático. O total de espécies conhecidas destes organismos, hoje é estimado em 50 mil (Instituto Biológico de São Paulo, 2020c). O tamanho diminuto desses animais facilita sua dispersão, a qual ocorre por meios naturais, podem ser dispersos por caminhamento, pelo vento ou por outros animais, vertebrados e invertebrados e através da atividade humana pelo trânsito de animais e vegetais (Krantz; Walter, 2009).

A subclasse Acari é dividida em duas superordens: Parasitiformes e Acariformes. Os Parasitiformes são os ácaros que possuem de um a quatro pares de estigmas posteriores à coxa II e coxas móveis, sendo dividida nas ordens, Holothyrida, Ixodida, Mesostigmata e Opilioacarida. Já os Acariformes compreendem os que não possuem estigmas visíveis

posteriores à coxa II e apresentam as coxas fundidas ao ventre, sendo representados pelas ordens Sarcoptiformes e Trombidiformes (Krantz; Walter, 2009).

2.3.1 Ácaros fitófagos

Os ácaros fitófagos incluem espécies que se alimentam tanto da parte aérea quanto da subterrânea das plantas, podendo causar prejuízos econômicos em diversas culturas de importância agrícola (Moraes; Flechtmann, 2008). São mais lentos e menos esclerotizados que os predadores, apresentando coloração viva ou branca (Krantz; Walter, 2009). Os ácaros estão entre os organismos que apresentam características de pragas, visto sua grande expressividade de ameaças aos sistemas agro-silvo pastoris, causando danos diretos pela sua alimentação que, em caso de infestações muito severas, pode levar o hospedeiro à morte e danos indiretos como vetores ou disseminadores de fitopatógenos (Hoy, 2011; Moraes; Flechtmann, 2008).

As principais famílias de ácaros fitófagos são Tetranychidae, Eriophyidae, Tenuipalpidae e Tarsonemidae (Moraes; Flechtmann, 2008). Dentre as espécies de ácaros quarentenários para o Brasil destacam-se as espécies *Steneotarsonemus spinki* Smiley, 1967, pois está na eminência de entrada para o País por meios naturais de disseminação, já registrado na Colômbia; e *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949 com distribuição ainda restrita ao Chile e Argentina (Navia; Mendonça; Flechtmann, 2006).

2.3.2 *Steneotarsonemus spinki* Smiley, 1967

Esta espécie pertence a família tarsonemidae, composta de ácaros insetófilos, nidícolas, algívoros, fungívoros e fitófagos, de acordo com Krantz e Walter (2009) e Zhang (2003), são predadores de ácaros, parasitas de insetos e possivelmente simbioses de insetos, sendo alguns tarsonemídeos importantes para agricultura, pois podem ocasionar prejuízos econômicos.

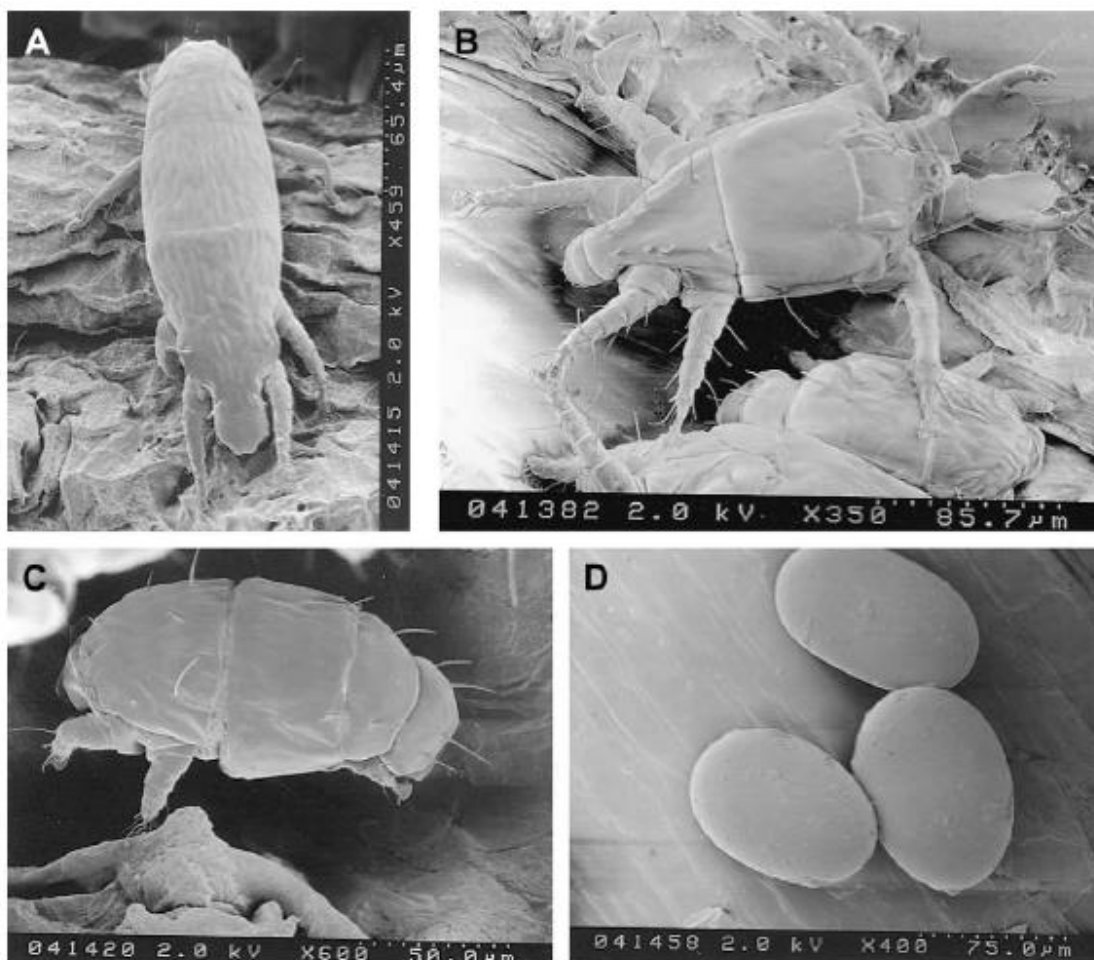
A família é composta por três subfamílias: Pseudotarsonemoidinae, Acarapinae e Tarsoneminae. A maioria das espécies descritas são distribuídas nos Tarsoneminae, que inclui dois gêneros mais representativos em número de espécies, *Tarsonemus* (mais de 270 espécies) e *Steneotarsonemus* (acima de 70 espécies) (Zhang, 2003). Os tarsonemídeos tendem a ser específicos para determinadas famílias de plantas ou gêneros, por exemplo, a maioria das espécies de *Steneotarsonemus* são restritas a plantas monocotiledôneas (Krantz; Walter, 2009).

O primeiro registro de *S. spinki* como praga em arroz foi feito por Ramaiah (1931) na Índia. No entanto, somente na década de 1970 que Ou, Fang e Tseng (1977) registraram pela primeira vez este ácaro como praga no arroz no sul da China. A partir de então, estudos vêm sendo publicados sobre esta espécie, tais como de Rao e Das (1977) na Índia, Lo e Hor (1977), Sogawa (1977), Smiley, Flechtmann e Ochoa (1993), Cheng e Chiu (1999), Cho, Kim e Im (1999), Cabrera, Nugaliyadde e Ramos (2002) em Taiwan, Quênia, Filipinas, Coréia, Tailândia e Sri Lanka, respectivamente. No Japão, foi relatado infestação de mudas com *S.spinki* para a produção de sementes (SHIKATA *et al.*, 1984). Os primeiros relatos de *S. spinki* na América foi nos EUA, em 1960 em Baton Rouge, Lousiana e em 1997 em plantações de arroz em Cuba (Ramos; Rodriguez, 1998). A partir desse momento, sua dispersão começou rapidamente em todo o Caribe e América Central; como na República Dominicana, segundo Ramos, Gomez e Cabrera (2007); no Panamá, de acordo com Almaguel Rojas *et al.* (2005); no Haiti, por Herrera (2005); na Costa Rica, destacado por Sanabria e Aguilar (2005); Colômbia, conforme Instituto Colombiano Agropecuario (2005); Guatemala e Honduras, indicado por Castro *et al.* (2020); Nicarágua e Venezuela, de acordo com Aguilar e Murillo (2020); México, conforme Arriaga (2007); e Porto Rico, El Salvador Equador e Estados Unidos, segundo Negrini *et al.* (2020). Tseng (1984), registrou que *S. spinki* é a praga mais importante do cultivo do arroz no mundo. Esta consideração, pelas experiências asiáticas, continua a ser válida hoje, especialmente agora que este ácaro foi introduzido e disperso no continente Americano (Toro Sánchez, 2013).

A espécie se caracteriza por uma taxa reprodutiva elevada, ciclo de vida curto, e habitat escondido, sendo protegido por bainhas de folhas (Almaguel Rojas; Botta Ferret, 2005). Temperaturas entre 25,5 e 27,5°C e umidade de 83,8 até 89,5%, favorecem a proliferação do fitófago (Cabrera; Nugaliyadde; Ramos, 2003). Apresentam reprodução sexuada por partenogênese arrenótoca, havendo a possibilidade de fêmeas acasalarem com descendentes machos e produzir machos e fêmeas (Navia; Mendonça; Ochoa, 2010).

Apresentam idiossoma, alongado e ornamentado, tegumento finamente pontudo com comprimento médio de 222-350 µm e largura 84-108 µm, dependendo do sexo (Figural A e B). Este ácaro é cristalino branco, não visível a olho nu, a observação no campo só é possível com lupas de 10x, ovos e larvas (Figuras 1 C e D) são ainda menores e de cor semelhante aos adultos (HUMMEL *et al.*, 2009a).

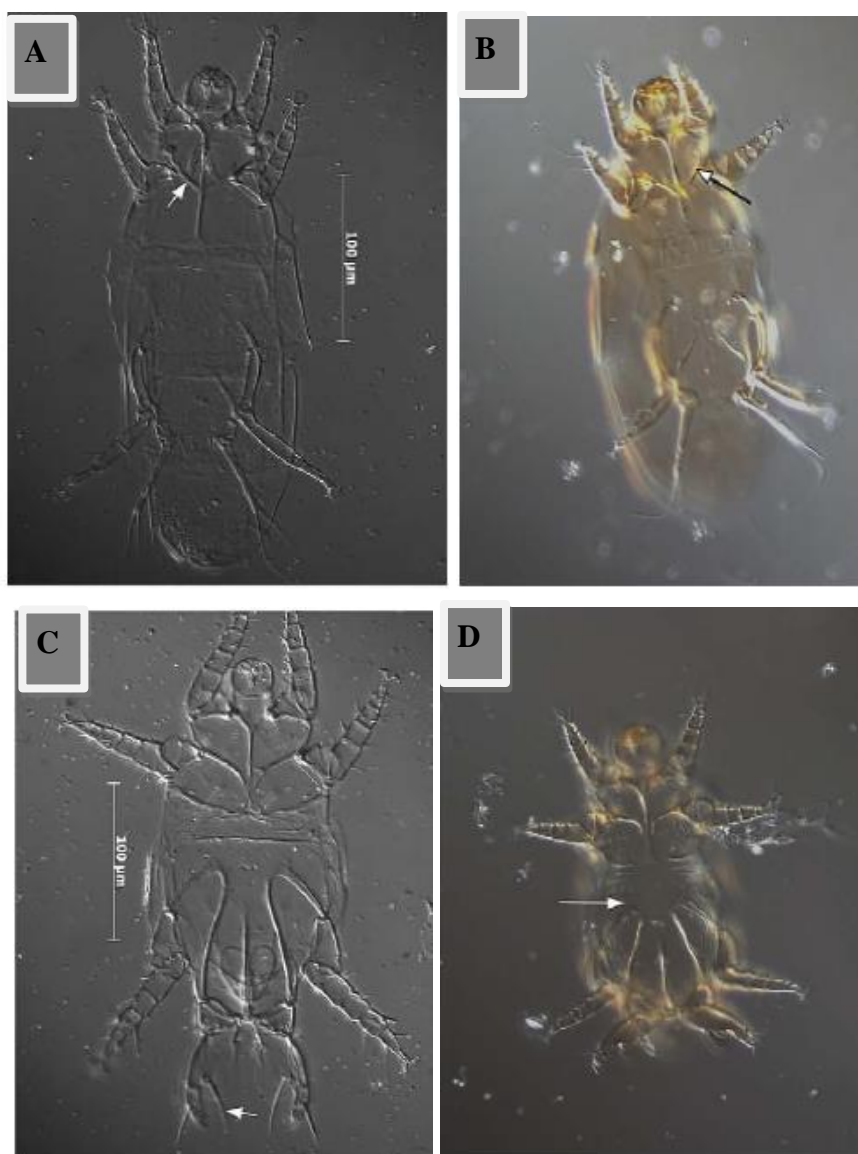
FIGURA 1. *Steneotarsonemus spinki* (A) fêmea, (B) macho, (C) larva, (D) ovos.
Imagens: E. Erbe, USDA-ARS EMU.



Fonte: Hummel *et al.* (2009, p. 551).

Fêmeas adultas de *S. spinki* (Figura 2 A) se assemelham às de *Steneotarsonemus konoii*; (Figura. 2 B) e *Steneotarsonemus madecassus*, por ter gnathosoma subquadrado, forte, pequeno, átrios conspícuos grandes, cerdas e corpo alongado. Machos de *S. spinki* se assemelham aos de *S. konoii* (Fig. 2C) e *S. madecassus* por ter falanges alongadas na perna IV. A fêmea se distingue por apresentar a seta *c1* e *d* farpadas no histereossoma e pela presença de um apodema ventral. O macho de *S. spinki* (Figura 2C) distingue-se do macho de *S. madecassus* por ter *sc1* mais que *sc2*, apodemas 3 e 4 unidos distalmente e de *S. Konoii* (Figura 2D) do sexo masculino por nenhuma ornamentação ventral, perna IV forte, com seta longa e lisa, e setas nos trocanteres ventrais maiores que *v'G* (Hummel *et al.*, 2009b).

FIGURA 2. *Steneotarsonemus spinki* fêmea (A) apodema II forte; *Steneotarsonemus konoï* fêmea (B) apodema II delgado; *S.spinki* macho (C) perna IV com seta v'G e and v'Ti longas; *S.konoï* macho (D) histereossoma ventral com reticulações.

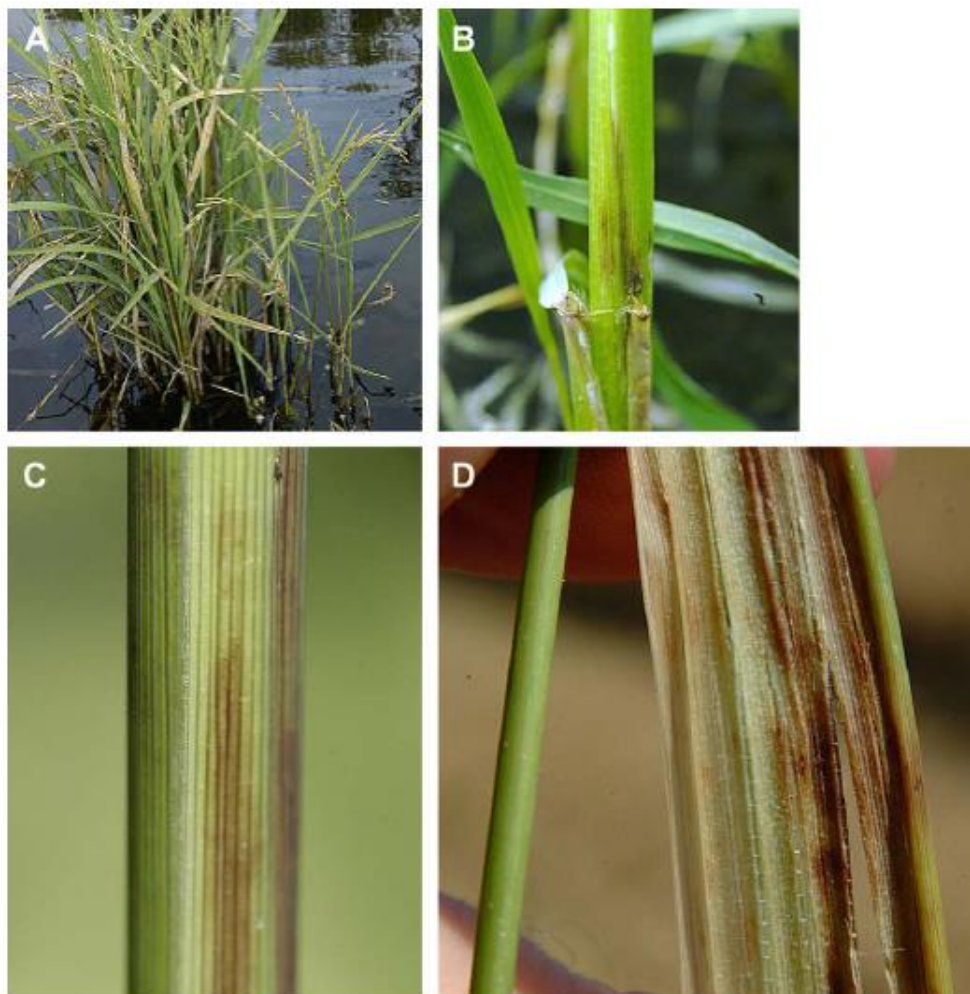


Fonte: Hummel *et al.* (2009, p. 550).

Steneotarsonemus spinki, vive e se desenvolve no lado interno da bainha da folha no arroz e produz sintomas de pouco dano visível na face externa da folha. Nas primeiras fases fenológicas das plantas e no início do desenvolvimento populacional, essas características não contribuem para a detecção rápida de seus danos (Almaguel Rojas *et al.*, 1998). As lesões são diretas por sucção do conteúdo celular de bainhas foliares e indiretas devido à sua associação com patógenos das plantas, como o fungo *Sarocladium oryzae*, e a bactéria *Burkholderia glumae*, de acordo com Correa-Victoria (2006). Quando o ácaro se alimenta os estiletes perfuraram a epiderme das células das plantas de arroz e

as plantas de arroz atacadas geralmente ficam atrofiadas e apresentam problemas em seu desenvolvimento como deformação de panículas e inflorescências, tecidos necróticos e desidratados manchas marrons na parede do grãos, esterilidade e redução de qualidade do grão e no número de panículas (Figura 3). (Toro Sánchez; Mesa Cobo, 2014).

FIGURA 3. *Steneotarsonemus spinki* danos às plantas de arroz. (A) planta inteira com cascas e caules descoloridos (B), (C) Lesões alimentares nas bainhas das folhas. (D) Descoloração no interior do bainha de folha.



Fonte: Hummel *et al.* (2009, p. 554).

2.3.3 *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949

Esta espécie pertence a família Tenuipalpidae, a qual tem distribuição mundial com cerca de mais de 1.100 espécies descritas pertencentes a 40 gêneros, segundo Castro *et al.* (2020), mas muitos outros ainda precisam ser descobertos e descritos. A maioria das espécies foi descrita na América do Norte (33% do total conhecido da fauna de ácaros

planos) e na África (13%), enquanto pouco se sabe sobre os ácaros planos no resto do mundo (MESA *et al.*, 2009). A família é constituída por três subfamílias, com a maioria das espécies pertencentes a Brevipalpinae e Tenuipalpinae. *Tenuipalpus* e *Brevipalpus* são os dois gêneros mais representativos em número de espécies e também os economicamente mais importantes (ZHANG, 2003).

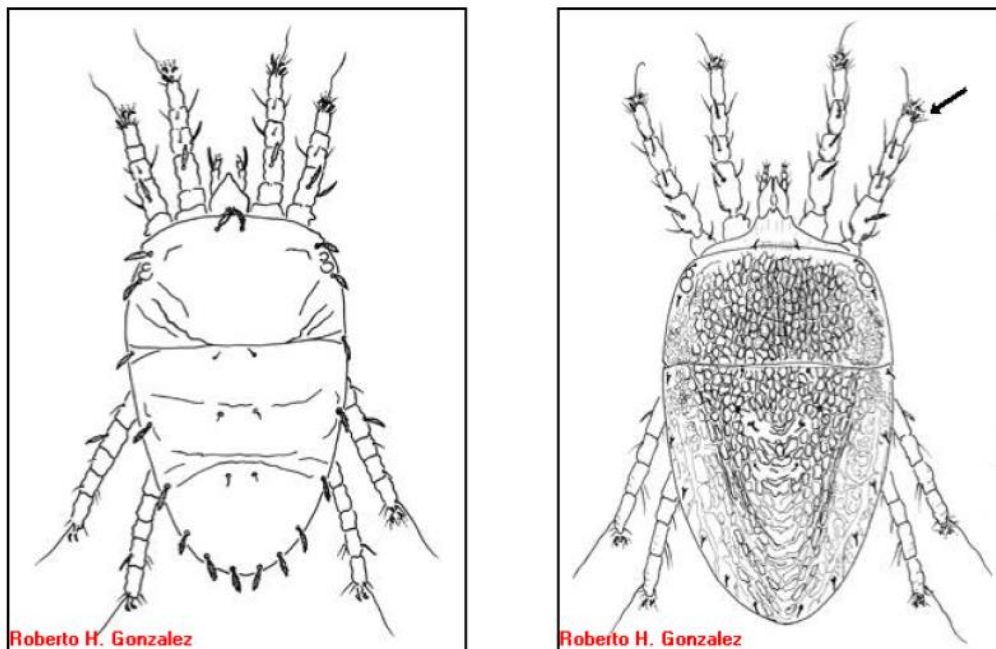
Brevipalpus chilensis foi primeiramente descrito em 1949 por Baker, em carga de limões provenientes do Chile e interceptados pela Divisão de Quarentena Vegeal de Nova York, EUA (Navia; Mendonça; Flechtmann, 2006). Este ácaro é endêmico do Chile devido sua distribuição e também devido a sua ocorrência ao elevado número de plantas hospedeiras, incluindo uma espécie nativa. Esta espécie é relatada em aproximadamente 40 plantas hospedeiras englobando desde frutíferas, ornamentais e florestais (Fidelis *et al.*, 2018). Há registros da espécie na região de Karnataka – Índia, descrito por Chandra e Channabasavasanna (1974); entre as regiões III (Tarapacá) e X (Los lagos) no Chile e também na Argentina, conforme Prado C. (1991), mas sem maiores detalhes. Vergani (1964) reportou a ocorrência em Mendonza na Argentina, porém estes espécimes foram posteriormente identificados como *Brevipalpus obovatus*, estando confirmada, até o momento, unicamente na Província de Rio Negro - Argentina (BEARD *et al.*, 2015c; REGONAT *et al.*, 2016).

Este ácaro tem como hospedeiros primários o limoeiro (*Citrus limon* L.) e a videira (*Vitis vinifera* L.) e como hospedeiros secundários, o ligustro (*Ligustrum sinense* Lour.). Pode ocasionar danos também no caqui (*Diospyros kaki* L.), figueira (*Ficus carica* I.) e kiwi (*Actinidia deliciosa*, Chevalier) (González, 1989). Em relação as variedades de videiras, as de origem francesa, em particular as cultivares Cot Rouge, Semillón, e Cabernet Sauvignon são as que apresentam as maiores populações de *B. Chilensis*.

A fêmea adulta de *B. chilensis* apresenta corpo ovalado e achatado dorsoventralmente (Figura 4) coloração vermelho escuro intenso com manchas pretas medindo aproximadamente 0,8mm. Apresenta seis pares de setas dorsoventrais e cinco pares no histerossoma. O segmento distal do palpo tem três setas e o tarso II tem uma única haste de solenóide distal e trocanter III com duas setas. O principal caráter distintivo é o propodossoma, que é reticulado onde algumas células se fundem para formar células maiores de forma irregular (Figura 5). Este último caractere distingue *B. chilensis* de *B. obovatus*, sendo esse recurso melhor visualizado sob microscópio biológico de contraste de fase (Beard *et al.*, 2015c; Iran, 2013). Na fase de deutoninfa, apresenta as setas c3, d3,

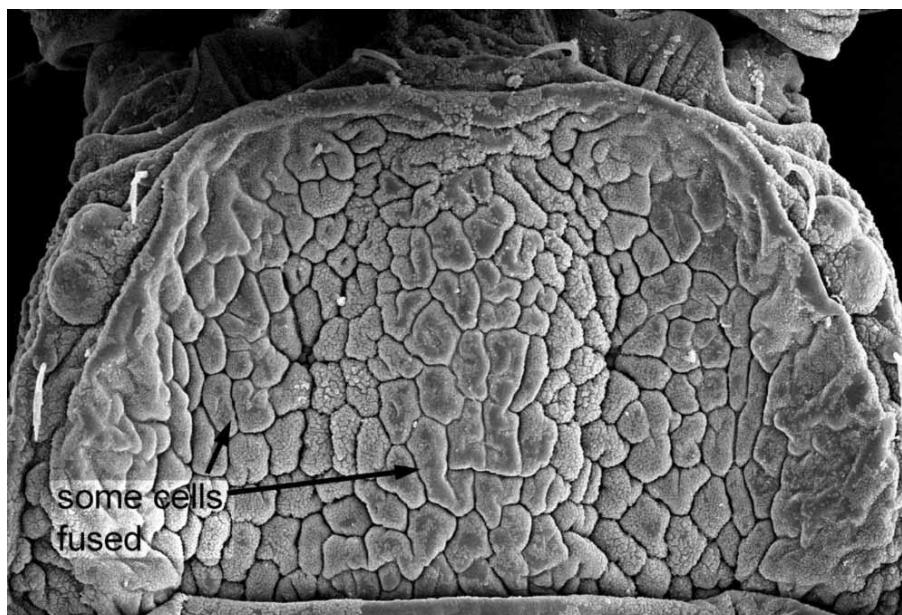
e3 mais longas que f3, h1-2 (*B. obovatus* deutoninfa apresenta c3, d3, e3 mais curta que f3 (Figura 6) (Beard *et al.*, c2015).

FIGURA 4. *Brevipalpus chilensis*, fêmea adulta.

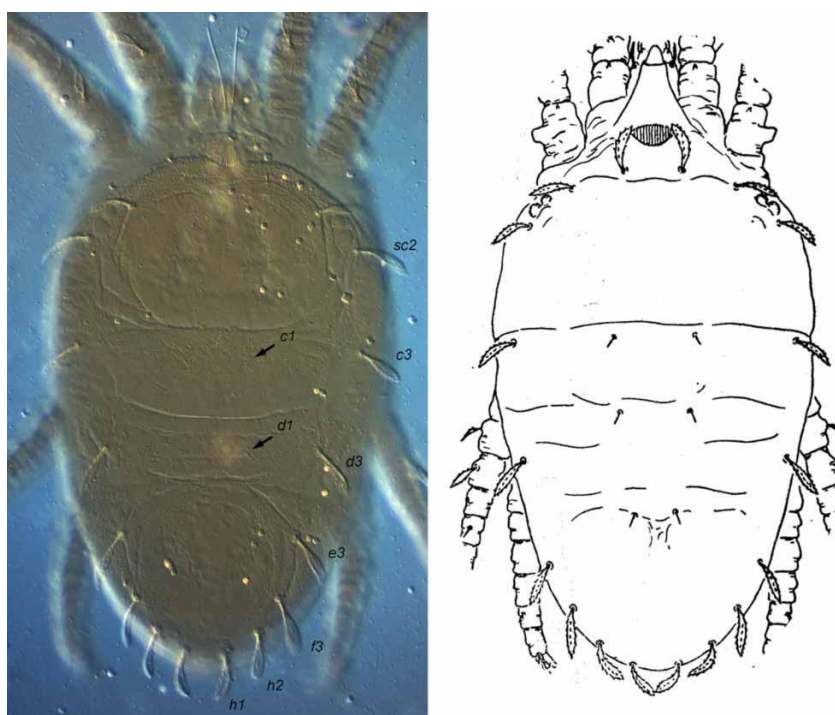


Fonte: Iran (2013, p. 2).

FIGURA 5. *Brevipalpus chilensis*, prodorso de fêmea adulta (Imagem: Gary Bauchan, USDA-ECMU).



Fonte: Beard *et al.* (c2015, p. 2).

FIGURA 6. *Brevipalpus chilensis*, dorso deutoninfa.

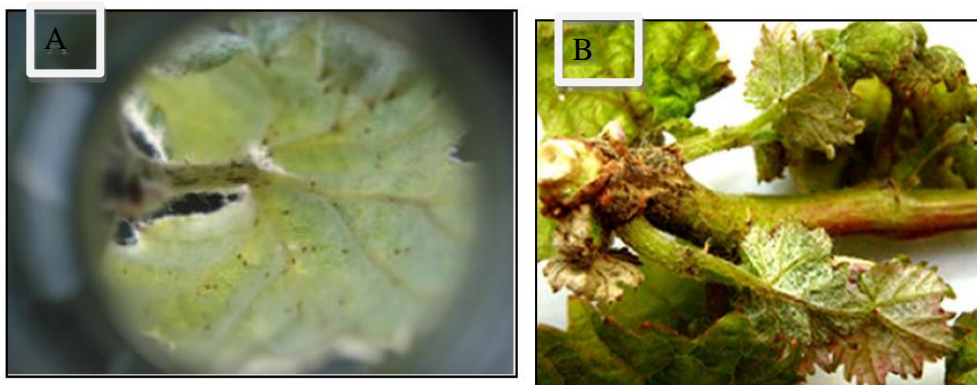
Fonte: BEARD *et al.* (2015c, p. 5).

Como em todas as espécies de *Brevipalpus*, os machos são menores e apresentam opistossoma afilado e apresentam o padrão morfológico como da fêmea. O desenvolvimento compreende as fases de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto (González Schultz, 2005). A eclosão das larvas ocorre após 10 ± 2 dias da oviposição, dois dias após a eclosão as larvas iniciam a alimentação, aumentando gradativamente seu desenvolvimento e a mudança na sua tonalidade, tornado-se mais avermelhada. Os estágios de desenvolvimento são intercalados por períodos de repouso, que duram em média de 3 a 4 dias cada um. As fases de ovo, larva, protoninfa e deutoninfa duram cerca de 8;5 a 7; 7 a 8; e 4 a 5 dias, respectivamente. O tempo médio de desenvolvimento requerido para completar uma geração é de 25,3 dias, variando de 18 a 59 dias. Da primavera até o final de março (período ativo) quatro gerações completas são produzidas, mais uma quinta geração parcial que não efetua postura (Fidelis *et al.*, 2018). Segundo González (1989) o desenvolvimento dos ovos ocorre pela temperatura média de 25 °C e umidade relativa do ar de 50%. A alta umidade relativa do ar afeta notavelmente a eclosão e observa-se uma diminuição na postura das fêmeas.

Em algumas regiões do Chile foram observados danos causados pela infestação deste ácaro com perdas de aproximadamente 30% nos parreirais, tornando esta espécie uma das pragas mais nocivas para videiras neste país (Navia; Mendonça; Flechtmann,

2006). Os danos causados pelo ataque deste ácaro podem ser diretos e indiretos. Como danos diretos causam necrose sobre as estruturas novas ocasionando diminuição nas folhas e brotos; em ataques severos podem ocasionar a desfoliação e morte da área afetada; indiretamente o dano é causado pela sua condição quarentenária (Figura 7). (Vargas; Olivares; Cardemil, 2005).

FIGURA 7. Danos causados pelo ácaro *B. chilensis* em videiras. A. descoloração; B. diminuição do tamanho dos brotos.



Fonte: Iran (2013, p. 6-8).

2.4 Modelagem de distribuição de espécies

Modelos de distribuição de espécies surgiram de esforços para determinar a relação entre as espécies e seus ambientes fornecendo uma das melhores maneiras de superar a escassez dos dados de distribuição de espécies. Estes também são chamados modelos de nicho ecológico e são utilizados para prever os impactos das mudanças climáticas, biogeografia, auxiliar na seleção de reservas, melhorar gestão de espécies e responder a muitas questões de biologia da conservação, conforme Paquit e Rama (2018), e ainda ajudam na formulação de novas hipóteses sobre os mecanismos que determinam a distribuição destas espécies (Giannini *et al.*, 2012).

A modelagem é um processo complexo que compreende várias etapas, as quais exigem o conhecimento de diversos conceitos e técnicas ligados não só a biologia, mas também a biodiversidade, geografia e clima, e ao processamento de dados requerido antes, durante e depois da obtenção do modelo (Lacerda, 2013).

O desenvolvimento de algoritmos (sequências finitas de comandos, executados através de códigos escritos em alguma linguagem computacional) que podem ser usados para a modelagem preditiva de distribuição, como Maxent, Garp, SVM foram fundamentais para a evolução desse processo. Os algoritmos tentam encontrar relações

não aleatórias entre os dados de ocorrência da espécie e os dados ecológicos/ambientais relevantes para a espécie (tais como: temperatura, precipitação, topografia, tipo de solo, geologia, entre outros) no ponto onde a espécie foi registrada (Lacerda, 2013).

A modelagem de distribuição potencial de espécies produz modelos empíricos que relacionam os registros de ocorrência das espécies em campo a variáveis preditoras ambientais, baseando-se em respostas derivadas de diversas hipóteses de como os fatores ambientais controlam a distribuição das espécies (Guisan; Zimmermann, 2000). Desse modo, a distribuição geográfica da espécie é predita através do mapeamento da área onde os requerimentos ambientais dos registros de ocorrência são atingidos. Assim, essa técnica vem sendo empregada para predizer sítios potenciais para espécies invasoras, conforme Ficetola, Thuiller e Miaud (2007), para estimar mudanças de distribuição frente às alterações climáticas, de acordo com Pearson e Dawson (2003) e identificar localidades potenciais para a ocorrência de espécies de importância de conservação (Rodríguez *et al.*, 2007). A Modelagem preditiva de distribuição de espécies se baseia na análise de nicho ecológico, o qual resume as tolerâncias às diferentes condições e as necessidades de diferentes recursos, com todas as interações bióticas e abióticas que podem ocorrer num determinado ecossistema (Giannini *et al.*, 2012).

Devido ao comércio internacional de insumos agrícolas, a introdução de espécies praga através de barreiras geográficas torna-se cada vez mais preocupante. Espécies introduzidas acidentalmente ou não podem encontrar um ambiente propício para seu desenvolvimento e assim estabelecimento, e ampliar sua distribuição e por consequência causar intensos danos econômicos a plantas e produtos vegetais (Fortes, 2009).

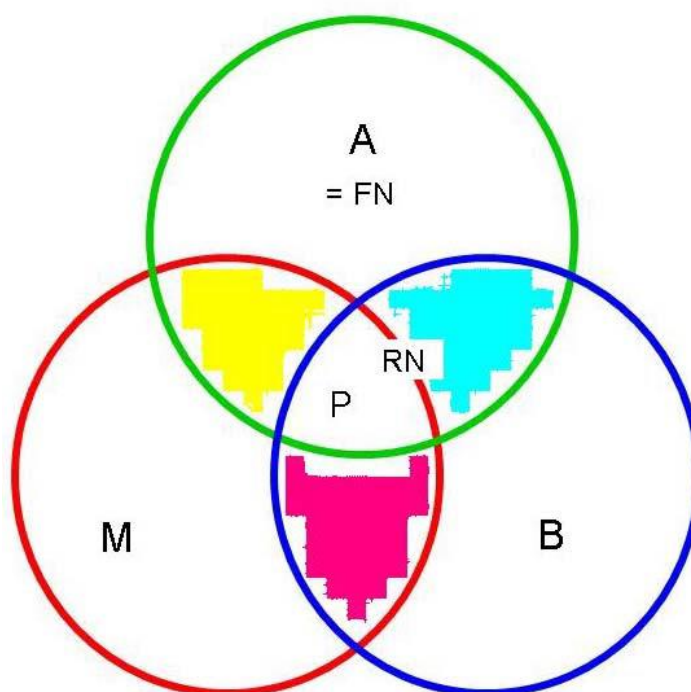
2.4.1 A modelagem de nicho ecológico

Um modelo baseado em nicho representa uma aproximação do nicho ecológico de uma espécie nas dimensões do ambiente examinado. O nicho fundamental de uma espécie consiste no conjunto de todas as condições que permitem a sua sobrevivência a longo prazo, enquanto o seu nicho percebido é um subconjunto do nicho fundamental que realmente ocupa. O nicho percebido da espécie pode ser menor do que o seu nicho fundamental, devido a influência das interações bióticas (por exemplo, competição interespecífica, predação), ou barreiras geográficas que têm dispersão e colonização impedidas; tais fatores podem impedir que as espécies habitem (ou mesmo encontrando) condições que englobam todo o seu potencial ecológico. Por definição, então, condições

ambientais nas localidades de ocorrência constituem amostras do nicho realizado (Phillips; Anderson; Schapire, 2006).

A área que uma espécie ocupa no espaço geográfico é resultado da ação conjunta de três fatores básicos: 1) condições abióticas, 2) interações bióticas e 3) capacidade de dispersão. Esses fatores afetam diretamente a distribuição das espécies de diferentes maneiras, em diferentes escalas espaciais, e normalmente são abordados a partir do chamado diagrama “BAM” (Figura 8) (Soberón; Peterson, 2005).

FIGURA 8. Representação esquemática - Diagrama de "BAM" - fatores fundamentais que afetam a distribuição geográfica de uma espécie e sua dinâmica no tempo.



Fonte: Soberón e Peterson (2005, p. 3).

A figura nos mostra que a área verde **A** representa a região geográfica com o conjunto apropriado de fatores abióticos para a espécie, e pode ser considerada como a expressão geográfica do Nicho Fundamental (**FN**). A área **B** (azul) é a região onde ocorre a combinação certa de espécies que interagem, o que pode ou não se sobrepor extensivamente com **A**. $A \cap B$ representa a extensão geográfica do nicho realizado (**RN**) da espécie. **M** (vermelho) é composto pelas partes do mundo “acessível” às espécies em algum sentido ecológico, sem barreiras ao movimento e à colonização. $A \cap B \cap M = P$ é

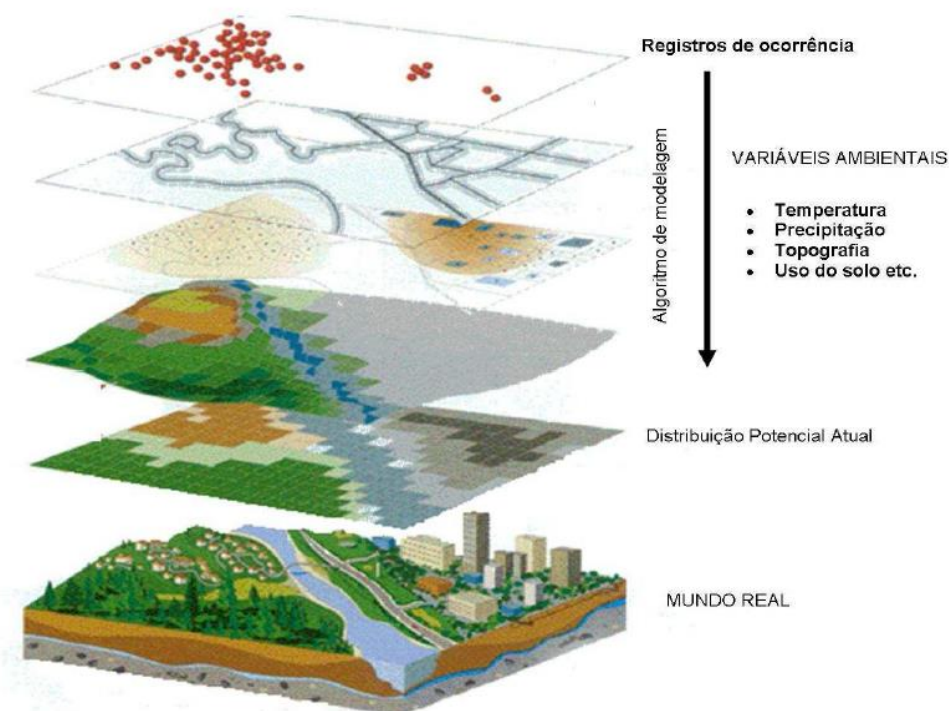
a região que tem o conjunto certo de fatores bióticos e abióticos e que seja acessível à espécie, e seja equivalente à distribuição geográfica da espécie.

Grinnell (1917) utilizou para nicho o conceito de unidade de distribuição, em que cada espécie é mantida pelas limitações estruturais e instintivas, não podendo duas espécies ocuparem o mesmo nicho durante muito tempo. Elton (1927) complementou a definição de nicho incluindo as interações interespecíficas entre as espécies, dando um sentido de estado funcional de um organismo na sua comunidade. Hutchinson (1975) unificou essas ideias e seus próprios achados, apontando que o nicho poderia ser visualizado como um espaço multidimensional com n dimensões ou hipervolume no interior do qual o ambiente permitiria à espécie viver indefinidamente, estando dividido em nicho fundamental, com máximo hipervolume e abstratamente habitado, que permite a manipulação matemática, e em nicho realizado, com hipervolume menor, onde ocorrem interações abióticas e bióticas, concretizando assim o nicho real das espécies.

Neste sentido, a modelagem de distribuição potencial de espécies baseia-se na abordagem de nicho ecológico de Hutchinson, que se utiliza de informações (climáticas, interações, geográficas, topográficas) do nicho realizado para prever o nicho fundamental num cenário futuro (De Marco Junior; Siqueira, 2009).

Entende-se pelo processo de modelagem de nicho ecológico, dados de ocorrência de espécies em mapas de distribuição geográfica indicando presença ou ausência da espécie, com a utilização de um algoritmo que analisa relações não aleatórias entre os dados de ocorrência com os dados ambientais pertinentes a espécie (temperatura, precipitação, etc.) (Figura 8). É uma representação da aproximação do nicho ecológico da espécie, nas dimensões de camadas ambientais utilizadas. Neste tipo de técnica não entram fatores históricos, competição, predação etc. (Matos, 2010).

FIGURA 9. Representação esquemática do processo de Modelagem de Nicho Ecológico.



Fonte: Matos (2010, p. 20).

Segundo Lima-Robeiro e Diniz-Filho (2013) existem várias classes de métodos analíticos usados para determinar o nicho ecológico de uma espécie de acordo com seus princípios metodológicos - mecanísticos e correlativos. Em um modelo mecanístico, o nicho é predito por um conjunto de funções baseadas no conhecimento fisiológico das espécies e são, no entanto, espécie-específicos e inacessíveis para espécies extintas ou dados fósseis; os correlativos são mais gerais e utilizam a informação ambiental contida em um conjunto de pontos de ocorrência de uma espécie para determinar suas condições ambientais favoráveis, ou seja, assumem que a distribuição geográfica das espécies é resultado de suas necessidades e limitações ambientais.

2.4.2 Dados usados em modelagem

Para a aplicação da modelagem são necessários a utilização de dados bióticos (coordenadas dos registros de ocorrência das espécies) e dados abióticos (mapas com a informação ambiental do estudo). Em relação aos dados bióticos, podem ser de dois tipos: os registros de ausência e presença. Dados de ausência são mais difíceis de obter

acuracidade visto que pode ser registrada de forma equivocada (Phillips; Anderson; Schapire, 2006).

Os algoritmos que utilizam dados de pseudo-ausência ou “background pixel” (pontos escolhidos aleatoriamente na área de estudo e usados como pseudo-ausências no processo de modelagem) são os híbridos ou intermediários. Para Stockwell (1999) e Phillips, Dudík e Schapire (2004) o Garp e o Maxent são exemplos desses algoritmos.

Os dados abióticos utilizados na modelagem são camadas climáticas (temperatura, precipitação, ventos, radiação solar etc.), topográficas e de uso de ocupação do solo.

2.4.3 Métodos de modelagem

Existe uma grande quantidade de métodos para gerar modelos preditivos da distribuição geográfica potencial de espécies que variam na maneira como modelam a distribuição da resposta, selecionam variáveis preditivas relevantes, definem funções ajustadas para cada variável, avaliam o peso (contribuição) de cada variável, permitem interações e padrões geográficos predeterminados de ocorrência (Elith *et al.*, 2006).

A escolha dos algoritmos deve levar em conta o objetivo do pesquisador conforme as características específicas dos dados. No caso de modelagem de distribuição de espécies que apresentam poucos registros de ocorrência, o Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction (GARP) e a Máxima Entropia (MAXENT) são os mais indicados, por apresentarem eficiência preditiva com poucos pontos de ocorrência, sendo que na validação dos modelos o Maxent é o algoritmo que demonstra maior eficiência (Giannini *et al.*, 2012).

O algoritmo Support Vector Machines (SVM) usa uma relação funcional conhecida como kernel para mapear dados em um novo hiperespaço, no qual padrões complicados podem ser mais simplesmente representados, não é baseado em características de distribuições estatísticas, não há nenhum requisito teórico para que os dados observados sejam independentes, assim, superando o problema de observações autocorrelacionadas, embora o desempenho do modelo seja afetado pelo quão bem os dados observados representam o intervalo de variáveis ambientais. Além disso, SVMs são mais estáveis, requerem menos ajustes de modelos e têm menos parâmetros que outros métodos de otimização (Drake; Randin; Guisan, 2006).

2.4.4 Etapas da modelagem

Resumidamente as etapas da modelagem versam nos seguintes passos: obtenção dos registros das espécies; obtenção de dados climáticos; escolha do algoritmo; geração de modelos testes; escolha do limite de corte e associação/avaliação do modelo gerado dentro desse limite de corte e geração dos mapas.

A aplicabilidade de modelos que visam prever a distribuição potencial de invasões é amplo, incluindo projeções de distribuição de espécies ao abrigo das alterações climáticas ou o comportamento dos invasores em novas paisagens. Contudo, um número crescente de publicações usou a modelagem de distribuição de espécies para prever a distribuição real de invasões biológicas. A modelagem tornou-se um interessante fator na modelagem ecológica devido a sua capacidade de prever consequências de uma invasão em locais não amostrados, segmentando locais para a vigilância e detecção precoce, auxiliando no controle e quantificação da disseminação da invasão (Václavík; Meentemeyer, 2009).

2.4.5 Uso de modelos aplicados a ácaros de importância agrícola

Estudos recentes usaram o procedimento de modelagem para definir estratégias de conservação da biodiversidade, conforme demonstrado por Camassola e Barbosa (2017), Mcpherson (2014) e Oliveira (2017); e para entender questões relacionadas com espécies invasoras por Barbosa (2012) e Strange *et al.* (2011).

Considerando o status atual de conhecimentos sobre a modelagem de distribuição potencial de espécies pragas de ácaros, alguns estudos foram desenvolvidos nesta área. Navia, Mendonça e Melo (2005) em seu trabalho com *S. spiniki*, objetivaram avaliar os riscos da introdução e disseminação deste ácaro na América do Sul, e identificar áreas potenciais de risco e opções de gerenciamento de risco para orientar um programa de contingência. Na primeira etapa do trabalho houve a identificação das vias de preocupação de quarentena. Na segunda etapa, as probabilidades de entrada, estabelecimento e disseminação destes ácaros na América do Sul (e as potenciais consequências econômicas); o potencial de estabelecimento foi avaliado usando o algoritmo Climex, assim como os parâmetros climáticos apropriados às principais regiões produtoras de arroz da América do Sul. Na terceira etapa foram consideradas as opções de gerenciamento para reduzir os riscos identificados na etapa dois. Os resultados da análise Climex neste estudo sugerem que a probabilidade de estabelecimento e

propagação desta praga na América do Sul também é alta, devido às condições climáticas serem favoráveis; o índice ecoclimático variou de 25 (= baixo a médio) a 75 (= alta) nas principais áreas de produção de arroz do Brasil.

Migeon *et al.* (2009) avaliaram a distribuição de *Tetranychus evansi*; e Pritchard e Baker (1955) utilizando o algoritmo Climex. Os resultados do modelo ajustaram os registros conhecidos de *T. evansi* com exceção de alguns registros em locais secos, visto que locais secos e excessivamente úmidos são limitadores a propagação do ácaro nos trópicos. Na América do Norte e Eurásia sua distribuição potencial parece ser essencialmente limitada pelo estresse frio. De acordo com o modelo, toda a região do Mediterrâneo tem o potencial para ser extensivamente colonizado pelo ácaro. Foi previsto a ampla expansão do ácaro para novas áreas na África.

Hill *et al.* (2011) usando dados históricos e atuais modelaram o ácaro invasor, *Halotydeus destructor*, praga agrícola na Austrália. Utilizaram como ferramenta para modelagem o algoritmo Maxent, construindo modelos correlativos projetando-os reciprocamente entre a África do Sul e a Austrália avaliando a expansão do alcance com modelos construídos para conjuntos de dados históricos e atuais. Os modelos sugerem que a espécie se expandiu na Austrália além do que é esperado para áreas mais quentes e secas.

Lu *et al.* (2012) analisaram a distribuição geográfica potencial e a adequação ambiental do ácaro vermelho *Tetranychus cinnabarinus* na China, neste estudo foi utilizado o Maxent e ArcGIS. Os resultados mostraram que havia 4 níveis de avaliação de adequação de *T. cinnabarinus* na China. A previsão mostrou *T. cinnabarinus* principalmente distribuído no sul da China, especialmente nas províncias de Hainan, Guangdong e Guangxi. O potencial de distribuição geográfica de *T. cinnabarinus* na China definida neste artigo construiu a base da teoria e suporte técnico para formação científica de medidas de controle do *T. cinnabarinus* na China.

Morais e Amaro (2013) avaliaram a distribuição geográfica potencial a partir de 12 pontos de ocorrência da espécie *Schizotetranychus hindustanicus*, onde foram consideradas 19 variáveis bioclimáticas e uma topográfica, obtidas do Wordclim com o algoritmo Maxent. O modelo gerado indicou que o ácaro apresenta elevado potencial de estabelecimento na América do Central, parte da Ásia, África e o norte e oeste da América do Sul. As variáveis bioclimáticas que mais contribuíram com o modelo foram temperatura, isothermalidade e precipitação. Os autores concluíram que estudos sobre a biologia do ácaro são importantes para a determinação dos fatores que afetam esta praga.

Meynard, Migeon e Navajas (2013) estudaram o alcance potencial do ácaro *T. evansi* e também exploraram três aspectos da incerteza em relação a modelagem de distribuição de espécies: (1) prevalência de espécies; (2) método de modelagem; e (3) variabilidade nas respostas ambientais. Como resultado observaram grandes variações preditivas ligadas a todos os fatores, embora a prevalência tenha mais influência do que o modelo estatístico, uma vez que as melhores estratégias de modelagem foram selecionadas. As principais áreas ameaçadas sob as condições atuais incluem países tropicais na América do Sul e África, e regiões temperadas na América do Norte, a Bacia do Mediterrâneo e Austrália. Sob cenários futuros, a ameaça muda para o norte da Europa e alguns outros regiões temperadas nas Américas, enquanto as regiões tropicais da África apresentam um risco reduzido. Análise de sobreposição de nicho sugere que a atual distribuição diferencial de ácaros dos dois clados de *T. evansi* pode ser parcialmente atribuída a diferenciação de nicho ambiental.

Amaro e Morais (2014) avaliaram a distribuição geográfica potencial do Ácaro-vermelho-das-palmeiras na América do Sul, *Raoiella indica*, utilizando o algoritmo Maxent. Os dados de ocorrência de *R. indica* foram obtidos através de pesquisa na literatura, bases de dados *online* e levantamentos realizados em campo. O modelo previu áreas potencialmente favoráveis ao *R. indica* ao norte da Colômbia, centro e norte da Venezuela, Guiana, Suriname, leste da Guiana Francesa e em vários locais do Brasil, incluindo Roraima, a parte oriental do Amazonas, o norte do Pará, Amapá e áreas costeiras, desde o Pará até o norte do Rio de Janeiro. Estes resultados indicam que *R. indica* tem um potencial significativo de impactos econômicos e social em todos esses países, particularmente no Brasil, uma vez que as regiões favoráveis se sobrepõe àquelas áreas com cultivos e produção de coco e banana, os principais hospedeiros deste ácaro.

Vásquez-Ordóñez e Parsa (2014) apresentam dados observacionais e dados de ocorrência baseados em indivíduos do gênero de *Mononychellus* associadas à mandioca. O conjunto de dados consiste em 1.513 registros de distribuição documentados pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) entre 1975 e 2012. Aproximadamente 61% dos registros pertencem a *M. Tanajoa* (BONDAR, 1938), 25% a *M. caribbeanae*, segundo McGregor (1950), 10% a *M. mcgregori*, conforme Flechtmann e Baker (1970), e 2% para *M. planki*, por McGregor (1950). O conjunto de dados completo está disponível em Formato do Darwin Core Archive através do Global Biodiversity Information Facility (GBIF), não sendo observado a aplicação de algoritmos.

Navia *et al.* (2016) apresentaram a distribuição espacial de *R. indica* no Brasil, em cenários atual e futuros de mudanças climáticas. Foi utilizado um método de mapeamento de distribuição de espécies baseado no sistema de informação geográfica (SIG). Os mapas foram construídos considerando faixas de favorabilidade de temperatura e umidade relativa. Os níveis de favorabilidade foram definidos a partir da informação disponível sobre a biologia e a dinâmica populacional da praga. Para caracterizar as condições climáticas atuais, informações foram referenciadas para a normal climatológica de 1961 a 1990. Os cenários futuros para os modelos foram os cenários A2 e B1 de emissões de gases, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, focalizados nos períodos de 2011–2040, 2041–2070 e 2071–2100. Foi observado o aumento de favorabilidade para os cenários futuros quando comparados ao período de referência, o que indica que o impacto da praga se agravará, caso esta já esteja amplamente disseminada e causando danos no País. A área com maior favorabilidade para o estabelecimento do ácaro é o nordeste do País.

Negrini *et al.* (2020) mapearam o risco de invasão de *S. spinki* em áreas de cultivo de arroz no mundo. Dados de presença de *Oryza sativa* e *S. spinki* obtidos na literatura e parâmetros bioclimáticos do WorldClim foram analisados no programa MaxEnt para gerar índices de adequação e mapas de distribuição para cada espécie e para as duas espécies juntas. A alta temperatura média anual associada à amplitude anual de baixa temperatura foram as variáveis ambientais mais importantes para a ocorrência de *O. Sativa* e *S. spinki*, e baixa precipitação favorecendo *S. spinki*. O modelo indicou que existem condições climáticas para o estabelecimento de *S. spinki* em importantes regiões produtoras de arroz, como África Ocidental e Central, Oceania, Ásia e Américas do Norte, Central e do Sul.

2.5 Referências

AGUILAR, H.; MURILLO, P. Nuevos hospederos y registros de ácaros fitófagos para Costa Rica: periodo 2002–2008. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 44, n. 1, p. 9–28, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i1.39996>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ALMAGUEL ROJAS, L. *et al.* Comportamiento y pruebas preliminares de control del ácaro del vaneado del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae). In: ENCUENTRO INTERNACIONAL DEL ARROZ, 1., 1998, Habana. **Anais** [...]. Habana: [S. n], 1998, p. 183.

ALMAGUEL ROJAS, L. *et al.* Propuesta de manejo integrado del ácaro del vaneado del arroz para los países de la región de Latinoamérica y el Caribe. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL DEL ARROZ, 3., 2005, Habana. **Anais** [...]. Habana: [S. n.], 2005, p. 53-59

ALMAGUEL ROJAS, L.; BOTTA FERRET, E. **Manejo integrado de *Steneotarsonemus spinki*, Smiley**: resultados de Cuba y transferencia para la región de Latinoamérica y el Caribe. Habana: Universidad de La Habana, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235933688_Manejo_Integrado_de_Steneotarsonemus_spinki_Smiley. Acesso em: 18 jul. 2021.

AMARO, G. C.; MORAIS, E. G. F. **Distribuição geográfica potencial do ácaro-vermelho-das-palmeiras na América do Sul**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265216930_Distribuicao_Geografica_Potencial_do_Acaro-vermelho-das-palmeiras_na_America_do_Sul. Acesso em: 17 jul. 2021.

ARRIAGA, J. T. **Detection of the rice tarsonemid mite (*Steneotarsonemus spinki* Smiley) in Palizada, Campeche, Mexico**. Raleigh: North American Plant Protection Organization Phytosanitary Alert System, 2007.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel. 1986.

BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/746617/origem-e-evolucao-de-plantas-cultivadas>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BARBOSA, F. G. **Modelos de distribuição de espécies invasoras: tendências e aplicações**. 2012. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/49285>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BARBOSA, M.; WALDRICH, S. O arroz que alimenta o mundo. **Bunge no Campo**, São Paulo, Ano 5 n. 35, dez. 2008. Disponível em: https://www.bunge.com.br/downloads/campo/BNC_35_DEZ08.pdf. Acesso em: 17 jul. 2021.

BEARD, J. J. *et al.* Flat mites of the world. **University of Maryland**, c2015. Disponível em: <http://idtools.org/id/mites/flatmites>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BERNARDO, J. *et al.* Interspecies physiological variation as a tool for cross-species assessments of global warming-induced endangerment: validation of an intrinsic determinant of macroecological and phylogeographic structure. **Biology Letters**, London, v. 3, n. 6, p. 695-699, ago. 2007. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2007.0259>. Acesso em: 17 jul. 2021.

CABRERA, R. I.; NUGALIYADDE, L.; RAMOS, M. Presencia de *Hirsutilla nodulosa* sobre el ácaro tarsonémido del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en Sri Lanka. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL DEL ARROZ, 2., 2002, Habana. **Anais** [...]. Habana: [S. n.], 2002. p 186-188.

- CAMARGO, U. A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 144-149, out. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500017>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- CAMASSOLA, T. M.; BARBOSA, F. G. Distribuição geográfica potencial de *Maytenus iliciflora* (CELASTRACEAE) no Brasil frente as mudanças climáticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA, 17.; CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, 2017. p. 1307-1312. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2152>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- CASTRO, E. B. *et al.* Tenuipalpidae database. **Universidade Estadual Paulista**, 2020. Disponível em: <http://www.tenuipalpidae.ibilce.unesp.br>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, London, v. 34, n. 4, p. 443-448, 2005.
- CHENG, C. H.; CHUI, Y. I. Review of changes involving rice pests and their control measures in Taiwan since 1945. **Plant Protection Bull**, Taipei, v. 41, n. 1, p. 9-34, 1999.
- CHO, M. R.; KIM, D. S.; IM, D. S. A new record of tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) and its damage on rice in Korea. **Korean Journal Appl. Entomol**, v. 38, p. 157-164, 1999.
- COAKLEY, S. M. Biospheric change: will it matter in plant pathology? **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 17, n. 2, p. 147-153, jun. 1995.
- CORREA-VICTORIA, F. **Complejo ácaro-hongo-bacteria en el arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2006. Disponível em: <https://docplayer.es/19588383-Complejo-acaro-hongo-bacteria-del-arroz-fernando-correa-victoria-centro-internacional-de-agricultura-tropical-ciat.html>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- COSTO, F. S. **Uva industrial**: análise mensal. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2020. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-uva/item/download/30715_d9acc7b3ca4bd3d621eeb6670c9c4ac0. Acesso em: 18 jul. 2021.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, mar./abr. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237499182_A_Uniform_Objective_and_Adaptive_System_for_Expressing_Rice_Development. Acesso em: 17 jul. 2021.
- CREASY, G. L.; CREASY, L. L. **Grapes**. Wallingford: CABI, 2009.
- DAI, J. *et al.* Extreme weather experiences and climate change beliefs in China: an econometric analysis. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 116, p. 310-321, ago. 2015.

DAVIS, A. J. et al. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. **Nature**, Vienna, v. 391, n. 6669, p. 783-786, feb. 1998.

DE MARCO JUNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, [S. l.], v. 5, n. 1-2, dez. 2009.

DEUTSCH, C. A. *et al.* Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, may 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0709472105>. Acesso em: 17 jul. 2021.

DRAKE, J. M.; RANDIN, C.; GUIBAN, A. Modelling ecological niches with support vector machines. **Journal of Applied Ecology**, Hoboken, v. 43, n. 3, p. 424-432, jun. 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01141.x>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ELITH, J. *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, Washington, v. 29, n. 2, p. 129-151, mar. 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ELTON, C. S. **Animal ecology**. London: Sidgwick & Jackson, 1927.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1997.

FICETOLA, G. F.; THUILLER, W.; MIAUD, C. Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species: the American bullfrog. **Diversity and Distributions**, Washington, v. 13, n. 4, p. 476-485, jun. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00377.x>. Acesso em: 17 jul. 2021.

FIDELIS, E. G. *et al.* **Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108710/priorizacao-de-pragas-quarentenarias-ausentes-no-brasil>. Acesso em: 17 jul. 2021.

FISCHER, G.; ALMANZA MERCHÁN, P. J.; SERRANO CELY, P. A. **Manual de viticultura tropical**. Tunja: Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, 2012.

FORTES, J. C. **Distribuição potencial e impacto de mudanças climáticas sobre a praga de girassol *Chlosyne lacinia* (Lepidoptera: Nymphalidae)**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, 2009. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/3888>. Acesso em: 17 jul. 2021.

GHINI, R. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011.

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

GIANNINI, T. C. *et al.* Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 3, p. 733-749, set. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s2175-78602012000300017>. Acesso em: 17 jul. 2021.

GIOVANNINI, E. **Produção de uvas: para vinho, suco e mesa**. 3. ed. Porto Alegre: Renascença, 2008.

GONZÁLEZ, R. **Insectos y ácaros de importancia agrícola y cuarentenaria en Chile**. Santiago: Universidad de Chile. Facultad de Agronomía, 1989.

GONZÁLEZ SCHULTZ, A. E. **Comportamiento poblacional y distribución espacial de *Brevipalpus Chilensis baker* en vid vinífera (*Vitis Vinifera*) y dispersión del ácaro depredador *Typhlodromus pyri***. 2005. Disertación (Mestrado) - Pontificia Universidad Católica Del Valparaíso, Quillota, 2005. Disponível em: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/29662>. Acesso em: 17 jul. 2021.

GRINNELL, J. The niche-relationships of the California Thrasher. **The Auk**, Oxford, v. 34, n. 4, p. 427-433, oct. 1917. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2307/4072271>. Acesso em: 17 jul. 2021.

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

HERRERA, L. A. R. Ácaro del vaneamiento del arroz *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Prostigmata: Tarsonemidae). **Revista de Ciencia y Tecnología**, Piracicaba, 2005.

HILL, M. P. *et al.* Understanding niche shifts: using current and historical data to model the invasive redlegged earth mite, *Halotydeus destructor*. **Diversity and Distributions**, Washington, v. 18, n. 2, p. 191-203, 24 oct. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00844.x>. Acesso em: 17 jul. 2021.

HOCHACHKA, P. W.; SOMERO, G. N. **Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution**. New York: Oxford University Press, 2002.

HOY, M. A. **Agricultural acarology: introduction to integrated mite management**. Boca Raton: CRC Press, 2011.

HUMMEL, N. A. *et al.* The panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, a re-discovered pest of rice in the United States. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 28, n. 7, p. 547-560, jul. 2009a.

HUMMEL, N. A. *et al.* The panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, to rice production in the United States. *In: PROCEEDINGS OF THE RICE TECHNICAL WORKING GROUP*, 30., 2009b, Texas. **Annals [...]**. Texas: [S. n], 2009b. p. 1-14. Disponível em: <https://greenhouse.ucdavis.edu/research/documents/prmdescription.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2021.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposium Quantitative Biology**, v. 22, p. 415-427, 1975. Disponível em: <https://www2.unil.ch/biomapper/Download/Hutchinson-CSHSymQunBio-1957.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. Coleção de ácaros de interesse agrícola "Geraldo Calcagnolo". **São Paulo: Governo do Estado**, c2020. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/page/colecoes/acaros>. Acesso em: 20 jul. 2021.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Resolucion n° 1.195, de 27 de abril de 2005. Por la cual se declara una emergencia fitosanitaria en todo o territorio nacional por la presencia de los ácaros *Steneotarsonemus spinki* (Smiley) e *Steneotarsonemus furcatus* (De León) em arroz. **Diario Oficial** n° 45.892, Bogotá, 27 abr. 2005. Disponível em: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_ica_1195_2005.htm. Acesso em: 18 jul. 2021.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Boletim de resultados da lavoura: safra 2019/2020. **IRGA**, 18 ago. 2020. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202008/19144808-boletim-de-resultados-da-lavoura-safra-2019-2020-irga.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

IRAN. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Plant Protection Organization. **List of plant quarantine pests in I.R. Iran**. Tehran: Bureau of Plant Pest Surveillance and Pest Risk Analysis, 2015. Disponível em: https://assets.ippc.int/static/media/files/reportingobligation/2015/10/31/pest_list.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

KRANTZ, G. W.; WALTER, D. E. (ed.). **A manual of acarology**. 3rd ed. Lubbock: Texas Tech University Press, 2009.

LACERDA, P. O. **Modelagem da distribuição geográfica atual e futura de *Guerlinguetus* (Rodentia, Sciuridae) no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/1461>. Acesso em: 17 jul. 2021.

LIMA-RIBEIRO, M. S.; DINIZ-FILHO, J. A. F. **Modelos ecológicos e a extinção da megafauna: clima e homem na América do Sul**. São Carlos: Cubo, 2013.

LO, K. C.; HO, C. C. Ecological observations on rice tarsonemid mite, *Steneotarsonemus spinki* (Acarina: Tarsonemidae). **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 28, p. 181-192, 1979.

LO, K. C.; HOR, C. C. Preliminary studies on rice tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* (Acarina: Tarsonemidae). **Natural Sciences College Council**, Colorado, v. 5, n. 4, p. 274–284, 1977.

LU, H. *et al.* Environmental Suitability of the Red Spider Mite *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: tetranychidae) among cassava in China. **Advanced Materials Research**, [S. l.], v. 518-523, p. 5446-5449, may 2012.

LUTTERSCHMIDT, W. I.; HUTCHISON, V. H. The critical thermal maximum: history and critique. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 75, n. 10, p. 1561-1574, oct. 1997. Canadian Science Publishing.

- MACIEL, S. M. **Fenologia e qualidade das *Vitis vinifera* L. ‘Merlot’, ‘Cabernet Sauvignon’ e ‘Tannat’ submetidas a diferentes épocas de poda.** 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3258>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- MAIA, A. G.; MIYAMOTO, B. C. B.; GARCIA, J. R. Climate change and agriculture: do environmental preservation and ecosystem services matter? **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 152, p. 27-39, oct. 2018.
- MATOS, R. S. **Avaliação das ferramentas de modelagem preditiva de nicho fundamental para espécies de aves do Parque Estadual da Serra do Mar e Núcleo São Sebastião-SP.** 2010. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-25052010-091544/pt-br.php>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- McPHERSON, T. Y. Landscape scale species distribution modeling across the Guiana Shield to inform conservation decision making in Guyana. **Biodiversity and Conservation**, Berlin, v. 23, n. 8, p. 1931-1948, apr. 2014.
- MENDELSON, R. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. **The American Economic Review**, v. 84, p. 753–771, 1994.
- MENDELSON, R.; DINAR, A. **Climate change and agriculture: an economic analysis of global impacts, adaptation and distributional effects.** Cheltenham: Edward Elgar, 2009.
- MESA, N. C. *et al.* A catalog of the Tenuipalpidae (Acari) of the World with a key to genera. **Zootaxa**, Swainsboro, v. 2098, n. 1, p. 1-185, may 2009.
- METZ, B. (ed.) *et al.* **Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- MEYNARD, C. N.; MIGEON, A.; NAVAJAS, M. Uncertainties in Predicting Species Distributions under Climate Change: a case study using *tetranychus evansi*. **Plos One**, Cambridge, v. 8, n. 6, jun. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066445>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- MIGEON, A. *et al.* Modelling the potential distribution of the invasive tomato red spider mite, *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, Berlin, v. 48, n. 3, p. 199-212, jan. 2009.
- MIRANDA CABRERA, I.; RAMOS L., M.; M. FERNÁNDEZ, B. Factores que influyen en la abundancia de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Costa Rica, v. 69, p. 34-37, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11554/6313>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de acarologia: carologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil.** Ribeirão Preto: Holos, 2008.

- MORAIS, E. G. F.; AMARO, G. Distribuição geográfica potencial do ácaro hindustânico-dos-citros *Schizotetranychus hindustanicus hist* baseado no modelo Maxent. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ACAROLOGIA*, 4., 2013, Bento, Gonçalves. **Anais** [...]. Bento Gonçalves: Embrapa, 2013.
- NAKANO, O. Insetos nocivos aos citros. *In: RODRIGUEZ, O. (ed.). Citricultura brasileira*. 2. ed. Campinas: Fundacao Cargill, 1991. p. 115-128.
- NAVIA, D. *et al.* Spatial forecasting of red palm mite in Brazil under current and future climate change scenarios. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 5, p. 586-598, may 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500020>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- NAVIA, D.; MENDONÇA, R. S.; FLECHTMANN, C. H. W. Ácaros de expressão quarentenária para o Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ACAROLOGIA*, 1., 2006, Viçosa. **Anais** [...]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 97-124. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/187768/acaros-de-expressao-quarentenaria-para-o-brasil>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- NAVIA, D.; MENDONÇA, R. S.; MELO, M. P. **Steneotarsonemus spinki—an invasive tarsonemid mite threatening rice crops in South America**. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228744573_Steneotarsonemus_spinki_an_invasive_tarsonemid_mite_threatening_rice_crops_in_South_America. Acesso em: 17 jul. 2021.
- NAVIA, D.; MENDONÇA, R. S.; OCHOA, R. The rice mite *Steneotarsonemus spinki*, an invasive species in the Americas. *In: SABELIS, M.W.; BRUIN, J. (Eds.). Trends in Acarology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p.379–384.
- NEGRINI, M. *et al.* Mapping of the *Steneotarsonemus spinki* invasion risk in suitable areas for rice (*Oryza sativa*) cultivation using MaxEnt. **Experimental and Applied Acarology**, Berlin, v. 80, n. 3, p. 445-461, feb. 2020.
- NOGUEIRA, B. **Histórico de conjunturas de arroz**: conjuntura semana: 12/10 a 16/10/2020. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-de-conjunturas-de-arroz/item/14357-arroz-conjuntura-semanal-13-10-a-16-10-2020>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- OLIVEIRA, R. C. A. **Distribuição potencial de espécies de lianas na transição Cerrado-Amazônia**: efeitos preditivos de mudanças climáticas. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, 2017. Disponível em: <http://portal.unemat.br/media/files/ROZANGELA%20CRISTINA%20ALVES%20DE%20OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E A ALIMENTAÇÃO. **Convenção Internacional de Proteção de Vegetais**. Roma: FAO, 1997.
- OU, Y. T.; FANG, H. C.; TSENG, Y. H. Studies on *Steneotarsonemus madecassus* Gutierrez of rice. **Plant Protection Bulletin**, Taiwan, v. 19, p. 21–29, 1977.
- OVERGAARD, J. *et al.* Effects of acclimation temperature on thermal tolerance and membrane phospholipid composition in the fruit fly *Drosophila melanogaster*. **Journal of Insect Physiology**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 619-629, mar. 2008.
- PAQUIT, J. C.; RAMA, R. I. P. Modeling the effect of climate change to the potential invasion range of *Piper aduncum* Linnaeus. **Global Journal of Environmental Science and Management**, Teerã, v. 4, n. 1, p. 71-80, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.01.007>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 637-669, dec. 2006.
- PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology and Biogeography**, Hoboken, v. 12, n. 5, p. 361-371, aug. 2003. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822x.2003.00042.x>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- PÉREZ NAVARRO, M. A. *et al.* Climatic suitability derived from species distribution models captures community responses to an extreme drought episode. **Ecosystems**, Berlim, v. 22, n. 1, p. 77-90, apr. 2019.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, jan. 2006.
- PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 21., 2004, New York. **Proceedings** [...]. New York: Association for Computing Machinery, 2004. p. 655-662. Disponível em: https://www.cs.princeton.edu/~schapire/papers/maxent_icml.pdf. Acesso em: 18 jul. 2021.
- POMMER, C. V. (ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.
- PRADO C., E. **Artrópodos y sus enemigos naturales asociados a plantas cultivadas en Chile**. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1991. Disponível em: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/37317>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- PRITCHARD, A. E.; BAKER, E. W. **A revision of the spider mite family Tetranychidae**. San Francisco: Pacific Coast entomological Society, 1955. v. 2. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/c692/9d31a3677979ef56785acd5a1e1c497e8424.pdf?_

ga=2.77655696.588658239.1626574092-2063685377.1626574092. Acesso em: 17 jul. 2021.

R Development Core Team (2019) R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Quantitative. Cold Spring Harbor Laboratory Press, v. 22, p. 415-427, 1957.

RAMAIAH, K. Preliminary investigations on the occurrence of sterility in rice, *Oryza sativa* Linn. **Agriculture Livestock** (India), v. 1, p. 414-416, 1931.

RAMOS, M.; GOMEZ, C.; CABRERA, R. I. Presencia de *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en cuatro variedades de arroz en la Republica Dominicana. **Revista Protección Vegetal**, San José de las Lajas, v. 16, n. 1, p. 6-9, 2007.

RAMOS, M.; RODRIGUEZ, H. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsone midae): nuevo informe para Cuba. **Revista Protección Vegetal**, San José de las Lajas, v. 13, p. 25-28, 1998.

RAO, Y. S.; DAS, P. K. A new mite pest of rice in India. **International Rice Research Newsletter**, Orissa, v. 2, p. 1-8. 1977.

REGONAT, M. *et al.* El ácaro más buscado en Argentina, *Brevipalpus chilensis*. In: RUEDA-RAMIREZ, D.; MORAES, G. J. (org.). **Proceedings Congreso Latinoamericano de Acarología**, v. 1. Montenegro, Quindío: Sociedad Latinoamericana de Acarología, 2016. p. 104-105. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303961082_El_acaro_mas_buscado_en_Argentina_Brevipalpus_chilensis_The_most_wanted_mite_in_Argentina_Brevipalpus_chilensis. Acesso em: 18 jul. 2021

RODRIGUES, L. L. *et al.* Análise filogenética do gênero *Oryza* com ênfase nas espécies brasileiras. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE, 10., 2015, Bento Gonçalves. **Anais [...]**: Bento Gonçalves: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2015 Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132354/1/ab.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

RODRÍGUEZ, J. P. *et al.* The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. **Diversity and Distributions**, Hoboken, v. 13, n. 3, p. 243-251, may 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00356.x>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SANABRIA, C.; AGUILAR, H. **El ácaro del vaneo del arroz: Steneotarsonemus spinkil: Tarsonemidae**. San José, Costa Rica: Boletín Fitosanitario, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2005.

SANTOS, A. O. *et al.* Composição da produção e qualidade da uva em videira cultivada sob dupla poda e regime microclimático estacional contrastante. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1135-1154, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000400012>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W. M.; FISHER, A. C. Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. **American Economic Review**, Nashville, v. 95, n. 1, p. 395-406, feb. 2005.

SHIKATA, E. *et al.* Small virus-like particles isolated from the leaf sheath tissues of rice plants and from the rice tarsonemid mites, *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acarina, Tarsonemidae). **The Phytopathological Society of Japan**, [S. l.], v. 50, n. 3, p. 368-374, 1984. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3186/jjphytopath.50.368>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SMILEY, R. L.; FLECHTMANN, C. H. W.; OCHOA, R. A new species of *Steneotarsonemus* (Acari: tarsonemidae) and an illustrated key to grass-infesting species in the western hemisphere. **International Journal of Acarology**, Londres, v. 19, n. 1, p. 87-93, mar. 1993.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, London, v. 2, p. 1-10, jan. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26539066_Interpretation_of_Models_of_Fundamental_Ecological_Niches_and_Species'_Distributional_Areas. Acesso em: 17 jul. 2021.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2018. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/201812/06085952-recomendacoes-tecnicas-sosbai.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SOGAWA, K. Occurrence of the rice tarsonemid mites at IRRI, Philippines. **International Rice Research Newsletter**, Orissa, v. 2, n. 5, 17, 1977.

SOUSA, J. S. I. **Uvas para o Brasil**. Sao Paulo: Melhoramentos, 1969.

STOCKWELL, D. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. **International Journal of Geographical Information Science**, London, v. 13, n. 2, p. 143-158, mar. 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/136588199241391>. Acesso em: 17 jul. 2021.

STRANGE, J. P. *et al.* Global invasion by *Anthidium manicatum* (Linnaeus) (Hymenoptera: megachilidae). **Biological Invasions**, Basingstoke, v. 13, n. 9, p. 2115-2133, jun. 2011.

SUNDAY, J. M.; BATES, A. E.; DULVY, N. K. Global analysis of thermal tolerance and latitude in ectotherms. **Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 278, n. 1713, p. 1823-1830, nov. 2010.

THOMAS, C. D. *et al.* Extinction risk from climate change. **Nature**, Berlin, v. 427, n. 6970, p. 145-148, jan. 2004.

TORO SÁNCHEZ, S. **Dinámica poblacional y estudio de la incidencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) sobre el desarrollo fenológico del arroz en Colombia**. 2013. Tesis (Doctorado) – Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21884?show=full>. Acesso em: 17 jul. 2021.

TORO SANCHEZ, S.; MESA COBO, N. C. Parámetros poblacionales y comportamiento de *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: tarsonemidae) en el cultivo

de arroz. **Acta Agronómica**, Bogotá, v. 64, n. 2, p. 186-193, oct. 2014. Universidad Nacional de Colombia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n2.43936>. Acesso em: 17 jul. 2021.

TSENG, Y. H. Mites associated with weeds, paddy rice, and upland rice fields in Taiwan. *In*: Griffiths, D. A.; Bowman, C. E. (eds.), **Acarology VI**. Chichester: Halsted Press, 1984. 2v. p. 770–780.

VÁCLAVÍK, T.; MEENTEMEYER, R. K. Invasive species distribution modeling (iSDM): are absence data and dispersal constraints needed to predict actual distributions? **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 220, n. 23, p. 3248-3258, dec. 2009.

VARGAS, M. P. R.; OLIVARES, N.; CARDEMIL, O. A. Desarrollo postembrionario y parámetros de tabla de vida de *Typhlodromus pyri* Scheuten, *Cydnodromus californicus* (McGregor) (Acarina: phytoseiidae) y *Brevipalpus chilensis* Baker (acarina: Tenuipalpidae). **Agricultura Técnica**, Santiago, v. 65, n. 2, p. 147-156, jun. 2005.

VÁSQUEZ-ORDÓÑEZ, A. A.; PARSA, S. A geographic distribution database of *Mononychellus* mites (Acari, Tetranychidae) on cassava (*Manihot esculenta*). **Zookeys**, Cali, v. 407, p. 1-8, may 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3897/zookeys.407.7564>. Acesso em: 17 jul. 2021.

VERGANI, A. R. Orden Acari. **Serie Información Técnica**, Concordia, v. 2, p. 36-37, 1964.

WILSON, E. O. **The diversity of life**. 2nd ed. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 2010.

ZHANG, Z. Q. **Mites of greenhouses: identification, biology and control**. Cambridge: CABI Publishing, 2003.

ZILLI, M. *et al.* The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 740, p. 139384-139384, oct. 2020.

3 ARTIGO 1 – EFFECT OF FUTURE CLIMATE CHANGES ON THE DISPERSION OF THE QUARANTINE MITE, STENEOTARSONEMUS SPINKI SMILEY, 1967 IN BRAZIL *

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a distribuição potencial de *Steneotarsonemus spinki* no Brasil em cenários futuros de mudanças climáticas. O algoritmo Maxent foi selecionado para relacionar a ocorrência da espécie com variáveis bioclimáticas que refletem diferentes condições de temperatura, precipitação e sazonalidade. Os modelos foram validados por meio do índice AUC e a influência das variáveis sobre a distribuição das espécies foi avaliada por meio do teste Jackknife. Os modelos apresentaram excelente desempenho, visto que os índices AUC variaram entre 0,824 a 0,865. Os mapas resultantes preveem áreas de ocorrência abrangente para a espécie, ocorrendo em uma porção significativa dos estados brasileiros. Os modelos evidenciaram redução de área ambientalmente adequada da espécie no futuro otimista e para o cenário de futuro pessimista o avanço nas áreas. A modelagem de distribuição de espécies mostrou-se bastante útil em fornecer contribuições para o estudo de questões ecológicas sobre a distribuição da espécie, além de ser uma importante ferramenta para planos de contingência, visto o risco eminente de entrada e estabelecimento da espécie no Brasil.

ABSTRACT

This work aimed to determine the potential distribution of the *Steneotarsonemus spinki* in Brazil in future climate change scenarios. The Maxent algorithm was selected to relate the occurrence of the species with bioclimatic variables that reflect different conditions of temperature, precipitation and seasonality. The models were validated using the AUC index and the influence of variables on species distribution was assessed using the Jackknife test. The models showed excellent performance, since the AUC indexes ranged from 0.824 to 0.865. The resulting maps predict areas of extensive occurrence for the species, occurring in a significant portion of Brazilian states. The models showed a reduction in the environmentally adequate area of the species in the optimistic future and, for the pessimistic future scenario, the advance in the referred areas. Species distribution modeling proved to be very useful in providing contributions to the study of ecological

*Artigo formatado conforme as normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

issues about species distribution, in addition to being an important tool for contingency plans, given the imminent risk of entry and establishment of the species in Brazil.

3.1 Introduction

Understanding the dispersion of species on a shorter time scale, such as an invasion of species or changes in geographical distribution in response to environmental changes, is essential for understanding the evolutionary, ecological, and life-history processes of species (Massol & Débarre, 2015). Knowing about the colonization pathways of invasive species is essential for assessing the probability of their geographic expansion, which, in its turn, is useful for establishing quarantine measures (Navajas *et al.*, 2013).

The variation in the environment, space, and time can lead to changes in the movement of species, favorable conditions increase dispersion when it facilitates the ability of individuals to move to a new area (Shaw, 2020). For invasive species, the success of the expansion and its spread rate is determined by the dispersion interaction, population growth, interactions with other species, and environmental heterogeneity (Kang & Armbruster, 2011).

Dust mites are prominent pests in several crops and *Steneotarsonemus spinki* Smiley, 1967 is the most important species in rice cultivation in the world, and in recent times its introduction and dispersion has occurred in the American continent, according Toro Sánchez (2013), and illustrates the threat that dispersion species represents for agriculture (Navajas & Ochoa, 2013). In Brazil, this mite is considered an absent quarantine pest, with no record of its occurrence so far (MAPA, 2020).

Biological characteristics of this mite, such as small size, high tolerance to pesticides, ability to survive under adverse conditions, reproduce both sexually and parthenogenesis, high reproductive rate, short life cycle, ability to adapt to alternative

hosts, make this species a major threat to the rice cultivation system, highlighted by Navia, Mendonça and Ochoa (2010), Rubiano-Rodríguez, Sánchez-Doria e Tofiño-Rivera (2019), and causes economic losses of 5 to 90%, by Negrini *et al.* (2020). Attacked rice plants usually have problems in their development, such as deformed panicles and inflorescences, becoming atrophied, with necrotic and dehydrated tissues, brown spots on the grain wall, sterility, and reduced quality of the grain and in its number of panicles (Toro Sánchez & Mesa Cobo, 2015).

Thus, this work aimed to assess the impact of climate change on the potential distribution of *S. spinki* in Brazil in future scenarios, and to identify the main environmental predictors responsible for the dispersion process of this species.

3.2 Material and Methods

The occurrence data for *S. spinki* were obtained from several literature sources. During the process of debugging the database, it was observed that the occurrence points are from localities (municipalities) and not from the exact location of the species collection, thus defining the resolution of the spatial scale of the environmental layers for modeling at 0.5° degrees.

65 points of occurrence were used, which cover an extensive area, with presences registered in North, Central, and South America, as well as some points in China. The environmental values were extracted from the environmental layers in the process of selecting them for modeling using all 65 points of occurrence to ensure the closest representation to the real one, which covers a range of responses and environmental preferences of the species (for these layers). However, for the modeling process, the layers were cut to the limits of the Neotropical region, given the interest and focus of this

work. This database was used to model the current and future distribution of the species (Table 1).

Climatic data were extracted from the Ecoclimate (c2020) database standardized in space and time using Global Atmosphere-Ocean Circulation Models (AOGCM), considering 19 bioclimatic variables (Lima-Ribeiro *et al.*, 2015; Varela; Lima-Ribeiro & Terribile, 2015). EcoClimate offers a set of multitemporal climatic data from the most recent multimodal sets developed by the Coupled Modeling Intercomparison Projects (CMIP5) in past, present and future time periods, in global extensions and 0.5 ° spatial resolution (Lima-Ribeiro *et al.*, 2015).

The same variables were used to determine the future distribution models according to the Community Climate System Model CCSM 4 (c2021). The simulations for the future time (2080-2100) included two representative concentration routes (RCPs): RCP2.6 (low emissions scenarios - Optimistic Future), and RCP 8.5 (high emissions scenario - Pessimistic Future).

The bioclimatic variables for the study were selected through Principal Component Analysis (PCA) using Platform R (R Core Team, 2019). Three main axes were maintained in the analysis of PCA with the environmental values extracted from the points of occurrence of *S. spinki*. These three axes explain 85% of the variation of the data and with that, it was possible to select six variables. PCA is an exploratory analysis tool that allows revealing the existence or not of anomalous samples, of relations between the measured variables, and of relations or groupings between samples (Lyra *et al.*, 2010). Thus, the variables that showed a high correlation were removed, understood here as those that were adhered to the same main vector. The variables used to generate the models were BIO 2 = Average daytime temperature variation; BIO 3 = Isothermality (BIO2 / BIO7) (* 100); BIO 5 = Average temperature of the hottest month; BIO 7 = Annual

temperature variation; BIO 9 = Average temperature of the driest quarter and BIO 10 = Average temperature of the warmest quarter (Table 2).

To model the future distribution of *S. spinki*, the Maximum Entropy (Maxent) algorithm was used. Maxent uses presence and absence (pseudo-absence) or background data to estimate the potential partial niche of the species and is included in a group of methods, which are capable of managing more complex relationships between response variables and predictors that are increasingly used in species distribution modeling (Elith *et al.*, 2006; Phillips; Anderson & Schapire, 2006). For the geoprocessing of layers, cuts, and generation of models, the R Program was used (R Core Team, 2019). Maxent was performed using the Package R "Dismo" (Hijmans & Elith, 2016).

Maxent software version 3.4.1 was used with the following configurations: *auto features* (types of features are selected automatically, depending on the size of the training sample), Random Test Percentage: 30; Percentage of points that will be used in the test step; Regularization Multiplier (RM): 1 (Changes the model's complexity in order to increase or decrease overfitting), the higher the number, the lower the overfitting and omission error, on the other hand, the overprediction error will increase; Max Number of Background Points: 10000; Replicates: 10; Replicated Run Type: Crossvalidate - which would be equivalent to Jackknife.

Background data (pseudo-absence) were selected at random, keeping the prevalence equal to 0.5 (that is, the number of background records was equal to the number of attendances). In this study, the division of the data group was adopted into: training and test data. To evaluate the models, 70% of the presence and background data were randomly separated to calibrate the models (training data) and 30% to evaluate them (test data).

The performance of the models was evaluated using the ROC (Receiver Operating Characteristics) technique, produced by plotting the sensitivity against the complement of specificity (1-specificity) for different limit values of the Maxent variable. The area under the curve - AUC, serves as an assessment measure and its values range from 0 to 1, but values above 0.75 indicate models with acceptable predictive performance (De Marco Junior & Siqueira, 2009; Elith *et al.*, 2006). The accuracy rating for AUC is: 1> excellent> 0.9> good> 0.8> reasonable> 0.7> poor> 0.6> flawed (Chang *et al.*, 2020).

To map the distribution of the species, the models were developed based on all data on the occurrence of *S. spinki* and based on the six predictor variables. These data were run with a smaller cut layer, thus avoiding problems of overvaluing the validation values when using large areas, and later projected for a larger area, in this case, South America. These predictions were converted into presence-absence maps using the minimum presence limit (that is to say, the minimum gross adequacy value associated with an occurrence record). The minimum value predicted for the training sites was used as a threshold, claims Phillips, Anderson e Schapire (2006), named “lowest presence threshold” (Pearson *et al.*, 2006). With this method, the sensitivity reaches its maximum value 1 with the evaluation data, but it is extremely sensitive to small sample sizes, according Bean, Stafford e Brashares (2012), and sometimes predicts the presence of species in the entire study area (Phillips; Anderson & Schapire, 2006). This limit finds the lowest suitability value foreseen for a point of occurrence and assumes that the least suitable habitat in which the species occurs is the minimum suitability value for the species (Liu; Newell & White, 2016). For each model, the areas of *S. spinki* in different climatic scenarios were calculated.

To evaluate the influence of each variable to predict the distribution of species, the Jackknife test was used, and to test whether the differences observed in the areas predicted

as suitable for the presence of the species are due to chance or not, Prop.test was used (suitable areas, total area), on Platform R. Prop.test can be used to test the null value that the proportions (probabilities of success) in various groups are equal or that they are equal to certain given values.

3.3 Results and discussion

In the Maxent algorithm, the average values of the AUC (average of all models generated for each period - 10 in total) showed values above 0.8, indicating good reliability and precision, according with Elith et al. (2006), and the values for threshold - lower values of environmental suitability assigned to a true occurrence point for the species (Minimum Presence Training) (Table 3).

For the present scenario, Maxent predicted the potential distribution of *S. spinki* indicating the suitable regions for the species in the darkest areas of the map, where the results are consistent with reality when the greatest suitability is in the countries already occupied by the species, in North America, Central America, and South American countries (Venezuela, Colombia, and Ecuador), corroborating the study by Negrini *et al.*, (2020). Evaluating the prediction of the present model in pixels, converting it into Km², and quantifying the appropriate areas, using the cut-off threshold, it is observed that there are more suitable habitats than those currently occupied by the species with new areas in the area. Guyana, Suriname, French Guiana and South America, with a strip covering the North and Northeast regions of Brazil (Figure 1), with a total area equivalent to 7,142,500km² (Table 4). This result shows the current importance of contingency policies in these new areas indicated by the model, since the Northern region of Brazil stands out with 222 thousand hectares of planted area and is currently the second largest national rice-producing region (Nogueira, 2020).

For future scenarios (60 years) of climate change, both models exhibited a robust view with the AUCs indicating a consistent overall performance and showing a strong perception in forecasting climate change scenarios on a regional scale. The color scale present in the maps represents a continuum of environmental suitability. Areas in red are considered to have greater climatic conditions for the occurrence of *S. spinki* (Figure 2). In the optimistic future model, there is a reduction, in general, mainly in the adequacy range in the Northern region of Brazil, with the quantification of a suitable area for the occurrence of the species of approximately 4,897,500km².

In the pessimistic future, there is a change in the scenario, as the species tends to considerably increase its expansion area with 13,072,500 km², occupying new areas (Figure 3) and this process can be determined by a range of different factors, including climate, soil, dispersion capacity and biotic interactions, according Heikkinen *et al.* (2007), and in addition, there is still a factor of extreme relevance which is the existence, in this range of suitability, that are rice-producing regions and these in the future can also suffer negative impacts in relation to the fall in productivity due to the increase of CO₂ in the atmosphere and in the air temperature, however, this limitation can be partially mitigated with the way of handling the culture. Navia, Mendonça and Melo (2005), using the Climex algorithm, suggest that the probability of *S. spinki* establishment and propagation in South America exists, due to the favorable climatic conditions, in the main areas of rice production in Brazil.

The results presented by the model of this study reveal the feasibility of entering the pest by the neighboring countries of Brazil, as well as the establishment and dispersion in the environmentally appropriate areas indicated throughout the Brazilian territory, reaching the South region, which currently holds 80% of the production national rice market (Nogueira, 2020). These data indicate the high capacity of dispersion and

establishment of the mite, which can be explained by the bioecological characteristics as the adaptation to other hosts, especially species of the genus *Oryza*, as well as dissemination strategies that can also occur by wind and foresia (Navia; Mendonça & Ochoa, 2010). However, it is noteworthy that a given increase in the climatically adequate area does not necessarily mean the benefit for the species, since anthropic changes in the landscape and soil cover may prevent the arrival and establishment of populations in the new areas considered environmentally appropriate (Costa *et al.*, 2018).

The successful colonization of *S. pinki* in new places may be associated with factors such as the phenological phase of the crop, temperature, the number of predators and precipitation according by Miranda Cabrera, Ramos L. e M. Fernández (2003); added to these factors is the phenotypic plasticity of the species and the high tolerance to environmental heterogeneity. Invasiveness can also be attributed to local weather patterns, the presence or absence of competitors, mutualists, and regulators (Tobin *et al.*, 2007).

To test whether the total areas predicted by the models in the Present, RCP 2.6 and RCP 8.5 times differed, a proportions test was applied using the `prop.test` function in the R program (version 4.0.3). The models differ from each other in relation to the total areas considered adequate by the models ($\chi^2 = 3788.2$, $df = 2$, $p\text{-value} = 2.2e-16$), suggesting that the existing differences between the total predicted area, in each modeled time, it is not by chance and indicates that the process of climate change, especially in a pessimistic future scenario, will potentially alter the dispersion of the species in South America. However, it is known that the climate has a great impact on survival, development, and growth rates among arthropods, although other factors, such as the availability of trophic resources, can also affect the distribution of species (Horn *et al.*, 2012).

The contribution of each variable to the models, measured based on the Jackknife test, indicated isothermality (bio3) being the one with the greatest contribution (Figure 4), both for the present and future scenarios (Figure 4). The variable with the greatest contribution was the one that provided the greatest gain in the models when used in isolation, thus containing the most useful information to determine the occurrence of the species, as well as generating the greatest loss of quality in the final model when removed.

The isothermality variable is obtained by reason of the variation of the average monthly daytime temperature by the variation of the average annual temperature, that is, the greater the isothermality, the greater the variation of the daily temperature in relation to the annual one. This factor directly influences the physiological functions of the species that occur under this condition, resulting in the search for adaptive strategies in the face of drastic variations in a short scale of time (Costa *et al.*, 2018). Although the current global warming has caused the occurrence of rapid changes in the distributions of some species that are sensitive to small variations in temperatures, claims Horn *et al.* (2012), it is worth mentioning that depending on the intensity of the environmental change, organisms may not be affected by these conditions given the fact that they are small. In an intermediate situation, where part of the population is affected, genotype selection may occur and in conditions where the entire population is affected, the organisms will die or migrate (Fields *et al.*, 1993).

In agreement with Negrini *et al.* (2020), the thermal amplitude was also one of the most important environmental variables for the distribution of *S. spinki*, which meets the biological characteristics of the species, where, in laboratory conditions, it completes its cycle in a wide thermal range of 16 to 35 ° C which gives this species a great advantage, because in general phytophagous mites do not survive this thermal amplitude, and with

temperatures close to 34° C, egg mortality is close to 100% (Almaguel Rojas & Botta Ferret, 2005).

Other environmental factors such as relative humidity, precipitation, temperature and sunlight are determinants for the optimal development of the species in question, highlights Chandrasena *et al.* (2018), since in periods of lower precipitation and greater emission of sunlight the proliferation of *S. spinki* is favored, and the minimum temperature for its development is 16 ° C, below which only embryonic development was observed (Navia; Mendonça & Ochoa, 2010). Changes in development rates driven by climate change result in fluctuations in phenology, in the dynamics of species, which can lead to population outbreaks or declines and then interact with the rest of the organism's ecology (Boggs, 2016). Little is known about the indirect effects that may be caused in future scenarios of climate change in the distribution of *S. spinki*, the genetic variation and plasticity related to temperature, would be a significant extension to be addressed in future studies.

3.4 Conclusions

1. The current distribution model for *S. spinki*, after applying the threshold, indicates that there are more suitable habitats than those currently occupied by the species;
2. In the optimistic future distribution model, there is a decrease in the occupied areas and in the pessimistic future there is an expansion in the scope of areas, with a significant increase in the area favorable for the establishment of the species;
3. The main environmental predictor is responsible for the process of dispersion, colonization, and establishment of *S. spinki* is isothermality;

4. The risk of introducing and establishing this pest in Brazil is real and can be exacerbated by the conditions of future climate changes, availability of suitable host plants, and the pest's ability to adopt alternative hosts and survive the great thermal amplitude.

3.5 References

ALMAGUEL ROJAS, L.; BOTTA FERRET, E. **Manejo integrado de *Steneotarsonemus spinki*, Smiley**: resultados de Cuba y transferencia para la región de Latinoamérica y el Caribe. Habana: Universidad de La Habana, 2005. Available in: https://www.researchgate.net/publication/235933688_Manejo_Integrado_de_Steneotars_onemus_spinki_Smiley. Access on: 18 jul. 2021.

BEAN, W. T.; STAFFORD, R.; BRASHARES, J. S. The effects of small sample size and sample bias on threshold selection and accuracy assessment of species distribution models. *Ecography*, Lund, v. 35, p. 250–258, 2012. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-0587.2011.06545.x>. Access on: 18 jul. 2021.

BOGGS, C. L. The fingerprints of global climate change on insect populations. *Current Opinion in Insect Science*, Amsterdam, v. 17, p. 69–73, oct. 2016.

CHANDRA, B. K. N.; CHANNABASAVANNA, G. P. Faunistic study of false spider mites (acarina: tenuipalpidae) of India. *In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ACAROLOGY*, 4., 1974, Saalfelden. **Proceedings** [...]. Saalfelden: FAO, 1974. p. 177-183. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301314006>. Acesso em: 9 dez. 2021.

CHANDRASENA, G. D. S. N. *et al.* Temporal distribution of rice sheath mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) as influenced by the climatic parameters in the low-country wet zone of Sri Lanka. *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*, Colombo, v. 4, p. 1–8, 2018. Available in: <http://doi.org/10.4038/sljfa.v4i1.52>. Access on: 18 jul. 2021.

CHANG, Y. L. *et al.* Maxent modelling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Anabasis aphylla* in northwestern China. *Applied Ecology and Environmental Research*, Amsterdam, v. 18, p. 1637–1648, 2020. Available in: http://www.aloki.hu/pdf/1801_16371648.pdf. Access on: 18 jul. 2021.

COMUNITI CLIMATE SYSTEM MODEL. c2021. Available in: <https://www.cesm.ucar.edu/>. Access on: 18 jul. 2021.

COSTA, T. R. *et al.* Modelagem preditiva da espécie *Lychnophora pohlii* SCH. BIP., no Estado de Minas Gerais. *Nativa*, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 100–106, jan./feb. 2018. Available in: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i1.4696>. Access on: 18 jul. 2021.

DE MARCO JUNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, [S. l.], v. 5, n. 1-2, dez. 2009.

ECOCLIMATE. c2020. Available in: <https://www.ecoclimate.org/>. Access on: 21 jul. 2021.

ELITH, J. *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, Washington, v. 29, n. 2, p. 129-151, mar. 2006. Available in: <http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>. Access on: 18 jul. 2021.

FIELDS, P. A. *et al.* Effects of expected global climate change on marine faunas. *Trends in Ecology & Evolution*, Amsterdam, v. 8, n. 10, p. 361–367, 1993.

HEIKKINEN, R. K. *et al.* Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, London, v. 16, n. 6, p. 754–763, 2007.

HIJMANS, R. J.; ELITH, J. Package 'dismo'. **The Comprehensive R Archive Network**, 2020. Available in: <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>. Access on: 9 oct. 2021.

HORN, A. *et al.* Predicting the distribution of the two bark beetles *Tomicus destruens* and *Tomicus piniperda* in Europe and the Mediterranean region. *Agricultural and Forest Entomology*, Oxford, v. 14, n. 4, p. 358–366, may. 2012.

INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. Coleção de ácaros de interesse agrícola "Geraldo Calcagnolo". **São Paulo: Governo do Estado**, c2020. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/page/colecoes/acaros>. Acesso em: 20 jul. 2021.

IRAN. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Plant Protection Organization. **A guide for diagnosis & detection of quarantine pests: chilean false red mite *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949 Acari: Tenuipalpidae**. Tehran: Bureau of Plant Pest Surveillance and Pest Risk Analysis, 2013.

KANG, Y.; ARMBRUSTER, D. Dispersal effects on a discrete two-patch model for plant-insect interactions. *Journal of Theoretical Biology*, London, v. 268, n. 1, p. 84–97, oct. 2011.

LIMA-RIBEIRO, M. S. *et al.* EcoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. **Biodiversity Informatics**, v. 10, p. 1-21, aug. 2015. Available in: https://www.researchgate.net/publication/281205358_EcoClimate_a_database_of_climate_data_from_multiple_models_for_past_present_and_future_for_macroecologists_and_biogeographers. Access on: 17 jul. 2021.

LIU, C.; NEWELL, G.; WHITE, M. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. *Ecology and Evolution*, London, v. 6, n. 1, p. 337–348, dec. 2016. Available in: <https://doi.org/10.1002/ece3.1878>. Access on: 18 jul. 2021.

LYRA, W. S. *et al.* Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *Educação: Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1594-1597,

2010. Available in: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700030>. Access on: 18 jul. 2021.

MASSOL, F.; DÉBARRE, F. Evolution of dispersal in spatially and temporally variable environments: the importance of life cycles. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, Lancaster, v. 69, n. 7, p. 1925–1937, jul. 2015.

MIRANDA CABRERA, I.; RAMOS L., M.; M. FERNÁNDEZ, B. Factores que influyen en la abundancia de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Costa Rica, v. 69, p. 34-37, 2003. Available in: <http://hdl.handle.net/11554/6313>. Access on: 17 jul. 2021.

NAVAJAS, M. *et al.* Review of the invasion of *Tetranychus evansi*: biology, colonization pathways, potential expansion and prospects for biological control. *Experimental and Applied Acarology*, Dordrecht, v. 59, p. 43–65, 2013.

NAVAJAS, M.; OCHOA, R. Integrating ecology and genetics to address Acari invasions. *Experimental and Applied Acarology*, Dordrecht, v. 59, p. 1-10, 2013. Available in: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10493-012-9636-8>. Access on: 18 jul. 2021.

NAVIA, D.; MENDONÇA, R. S.; MELO, L. A. M.P. *Steneotarsonemus spinki*: an invasive tarsonemid mite threatening rice crops in South America. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. Available in: https://www.researchgate.net/publication/228744573_Steneotarsonemus_spinki-an_invasive_tarsonemid_mite_threatening_rice_crops_in_South_America. Access on: 15 ago. 2020.

NAVIA, D.; MENDONÇA, R. S.; OCHOA, R. The rice mite *Steneotarsonemus spinki*, an invasive species in the Americas. *In*: SABELIS, M.W.; BRUIN, J. (Eds.). *Trends in Acarology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p.379–384.

NEGRINI, M. *et al.* Mapping of the *Steneotarsonemus spinki* invasion risk in suitable areas for rice (*Oryza sativa*) cultivation using MaxEnt. *Experimental and Applied Acarology*, Dordrecht, v. 80, p. 445-461, feb. 2020.

NOGUEIRA, B. **Histórico de conjunturas de arroz**: conjuntura semana: 12/10 a 16/10/2020. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-de-conjunturas-de-arroz/item/14357-arroz-conjuntura-semanal-13-10-a-16-10-2020>. Acesso em: 22 fev. 2022.

PEARSON, R. G. *et al.* Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar: predicting species distributions with low sample sizes. *Journal of Biogeography*, Oxford, v. 34, n. 1, p. 102-117, jan. 2006.

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

R CORE TEAM. The R project for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2019. Available in: <https://www.r-project.org/>. Access on: 18 jul. 2021.

RUBIANO-RODRÍGUEZ, J. A.; SÁNCHEZ-DORIA, T.; TOFIÑO-RIVERA, R. Population study of *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) on three varieties rice sowing in different times. *Revista Colombiana de Entomología*, Bogotá, v. 45, n. 1, p. 1-6, 2019. Available in: <https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co/index.php/SOCOLEN/%20article%20/view%20/7809>. Access on: 18 jul. 2021.

SHAW, A. K. Causes and consequences of individual variation in animal movement. *Movement Ecology*, London, v. 8, n. 12, p. 1-12, feb. 2020. Available in: <https://movementecologyjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40462-020-0197-x>. Access on: 18 jul. 2021.

TOBIN, P. C. *et al.* Invasion speed is affected by geographical variation in the strength of Allee effects. *Ecology Letters*, Oxford, v. 10, p. 36–43, 2007. Available in: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/19009>. Access on: 18 jul. 2021.

TORO SÁNCHEZ, S. **Dinámica poblacional y estudio de la incidencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) sobre el desarrollo fenológico del arroz en Colombia.** 2013. Tesis (Doctorado) – Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 2013. Available in: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21884?show=full>. Access on: 17 jul. 2021.

TORO SÁNCHEZ, S.; MESA COBO, N. C. Population parameters and behavior of *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) in rice culture. *Acta Agronómica*, Bogotá, v. 64, n. 2, p. 186–193, 2015. Available in: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/43936. Access on: 18 jul. 2021.

UNITED STATES AGENCY INTERNATIONAL DEVELOPMENT. Climate risk profile Brazil. **Climatelinks**, 2018. Disponível em: https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/2018-April-30_USAID_CadmusCISF_Climate-Risk-Profile-Brazil.pdf. Acesso em: 9 dez. 2021.

VARELA, S.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; TERRIBILE, L. C. A Short guide to the climatic variables of the last glacial maximum for biogeographers. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 10, n. 6, p. 1-15, jun. 2015. Available in: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129037>. Access on: 20 jul. 2021.

3.6 Annexes

TABLE 1. Database of *Steneotarsonemus spinki* (Rice mite) used to generate the models.

| Locations | Latitude | Longitude | References |
|-----------------------------|------------|-------------|--|
| China, Cantão | 23°11'48"N | 113°15'37"W | Zhang & Pan (1978) and Zhang <i>et al.</i> (1995) in Xu <i>et al.</i> (2001) |
| China, Pingtung | 22°28'44"N | 120°35'07"W | Lo & Ho (1977); Chen <i>et al.</i> (1980) in Xu <i>et al.</i> (2001) |
| China, Tainan | 22°59'53"N | 120°14'15"W | Lo & Ho (1977); Chen <i>et al.</i> (1980) in Xu <i>et al.</i> (2001) |
| Colombia, Ambalema | 4°46'58"N | 74°46'00"W | Resolucion 1195 de 2005 (ICA) and Bonilla <i>et al.</i> (2008) |
| Colombia, Espinal | 4°08'56"N | 74°53'03"W | Resolucion 1195 de 2005 (ICA) and Bonilla <i>et al.</i> (2008) |
| Colombia, Jamundí | 3°15'43"N | 76°32'23"W | Carballo (2017) |
| Colombia, Lérida | 4°51'39"N | 74°46'00"W | Resolucion 1195 de 2005 (ICA) and Bonilla <i>et al.</i> (2008) |
| Colombia, Montería | 8°89'00"N | 75°49'00"W | Pérez & Duque (2015) |
| Colombia, Sabana de Torres | 7°23'41"N | 73°29'59"W | Resolucion 1195 de 2005 (ICA) and Bonilla <i>et al.</i> (2008) |
| Colombia, Villanueva | 4°36'40"N | 72°55'43"W | Resolucion 1195 de 2005 (ICA) and Bonilla <i>et al.</i> (2008) |
| Costa Rica, Bagaces | 10°31'49"N | 85°15'04"W | Sanabria & Aguilar (2005) |
| Costa Rica, Cañas | 10°25'39"N | 85°05'36"W | Sanabria & Aguilar (2005) |
| Costa Rica, San Ramon | 10°05'28"N | 84°28'13"W | Sanabria & Aguilar (2005) |
| Cuba, Bauta | 22°59'02"N | 82°12'56"W | Almaguel-Rojas <i>et al.</i> (2000) |
| Cuba, Cienfuegos | 22°14'11"N | 80°21'52"W | INISAV (1998) in Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Cuba, Isla de la Juventud | 21°42'33"N | 82°49'42"W | INISAV (1998) in Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Cuba, Matanzas | 23°01'58"N | 81°31'56"W | INISAV (1998) in Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Cuba, Pinar del Río | 22°23'55"N | 83°49'04"W | INISAV (1998) in Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Cuba, San Jose de las Lajas | 22°57'26"N | 82°08'31"W | Peteira <i>et al.</i> (2008) |
| Dominican Republic, Bonao | 18°55'59"N | 70°24'30"W | Garcia <i>et al.</i> (2002) |
| Ecuador, El Triunfo | 2°14'40"N | 79°24'24"W | El Telégrafo (2012) in Delgado <i>et al.</i> (2018) |
| Ecuador, La Cuca | 3°29'48"N | 80°04'08"W | El Telégrafo (2012) in Delgado <i>et al.</i> (2018) |
| USA, Brazoria | 29°13'25"N | 95°28'37"W | NAPPO (2007) |
| USA, Crowley | 30°12'53"N | 92°22'23"W | NAPPO (2007) in Hummel <i>et al.</i> (2009b) |
| USA, Davis | 38°32'39"N | 121°44'23"W | UCDavis (2009) in Hummel <i>et al.</i> (2009b) |
| USA, Lajas | 18°02'59"N | 67°02'34"W | NAPPO (2008) |
| USA, Ithaca | 42°26'43"N | 76°30'09"W | NAPPO (2007) |
| USA, Rayne | 30°14'05"N | 92°15'57"W | NAPPO (2007) |
| USA, Stuttgart | 34°30'00"N | 91°33'08"W | NAPPO (2007) |
| Honduras, Comayagua | 14°27'22"N | 87°41'08"W | Almaguel y de la Torre (2005) in Sandoval (2009) |

| | | | |
|--|------------|-------------|--|
| India, Bangalore | 12°58'06"N | 77°35'54"W | Prabhakara (2002) and Mutthuraju (2010) in Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Bellary | 15°08'15"N | 76°55'20"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Cuttack | 20°27'45"N | 85°53'16"L | Jagadiswari & Prakash (2003) in Navia et al. (2010) |
| India, Dakshina Kannada | 12°50'35"N | 75°16'00"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Kadapa (Maasapet) | 14°27'55"N | 78°49'37"W | Bhaskar (2011) |
| India, Kalyani | 22°57'32"N | 88°29'40"W | Karmakar (2008) |
| India, Kodagu | 12°19'08"N | 75°54'40"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Mandya | 12°31'08"N | 76°53'59"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Mysore | 12°17'55"N | 76°40'09"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Navsari | 20°53'36"N | 72°56'44"W | Anonymous (2007-09) and Bandhanian & Purohit, (2007) in Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Raichur | 16°12'37"N | 77°20'45"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| India, Shimoga | 13°55'45"N | 75°34'07"W | Mutthuraju et al. (2014) |
| South Korea, Suwon | 37°15'45"N | 127°01'46"W | Cho et al. (1999) |
| Mexico, Cárdenas | 18°09'23"N | 93°29'45"W | Otero-Colina et al. (2015) |
| Mexico, Cosamaloapan | 18°21'55"N | 95°47'43"W | NAPPO (2009) |
| Mexico, Palizada Mexico | 18°02'49"N | 91°52'53"W | Otero-Colina et al. (2015) |
| Mexico, Piedras Negras | 18°45'57"N | 96°11'41"W | Otero-Colina et al. (2015) |
| Mexico, Tierra Blanca | 18°26'41"N | 96°21'30"W | NAPPO (2009) |
| Mexico, Tlalixcoyan | 18°48'10"N | 96°03'38"W | NAPPO (2009) |
| Mexico, Tres Valles | 18°14'13"N | 96°08'11"W | NAPPO (2009) |
| Panama, Changuinola | 9°26'45"N | 82°28'48"W | Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Panama, Chiriquí | 8°35'11"N | 82°23'12"W | Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Panama, El Caño | 8°26'38"N | 80°31'53"W | Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Panama, Chepo | 9°09'45"N | 79°06'13"W | Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Panama, Natá | 8°18'12"N | 80°25'58"W | Almaguel-Rojas & Ferret (2005) |
| Panama, Penonomé | 8°31'06"N | 80°21'11"W | Quirós-McIntire & Buitrago (2011) |
| Philippines, Los Banos | 14°10'14"N | 121°14'41"W | Sogawa (1977) in Hummel et al. (2009b) |
| Sri Lanka, Colombo | 6°35'34"N | 79°51'39"W | Chandrasena et al. (2016) |
| Sri Lanka, Kalutara | 6°35'05"N | 79°57'47"W | Chandrasena et al. (2016) |
| USA, Baton Rouge | 30°26'49"N | 91°11'38"W | Smiley (1967) in Navia et al. (2010) |
| Venezuela, Alberto Arvelo Torrealba | 8°44'26"N | 69°56'01"W | Sandoval (2009) |
| Venezuela, Araure | 9°34'51"N | 69°13'06"W | Sandoval (2009) |

| | | | |
|-----------------------------|------------|-------------|--|
| Venezuela, Miranda | 8°38'41"N | 67°11'06"W | Sandoval (2009) |
| Venezuela, Páez | 9°27'37"N | 68°57'03"W | Sandoval (2009) |
| Venezuela, Sabaneta | 8°45'04"N | 69°56'03"W | Sandoval (2009) |
| Venezuela, San Carlos | 9°39'34"N | 68°34'50"W | Sandoval (2009) |
| Venezuela, Santa Rosalía | 8°57'31"N | 68°51'37"W | Sandoval (2009) |
| Vietnam, Chau Thanh | 10°23'54"N | 106°14'43"W | Thuy et al. (2012) |
| Vietnam, Thua Thien Hue | 16°28'10"N | 107°35'38"W | Ngo Dinh Hoa (1992) in Thuy al. (2012) |

Source: Negrini *et al.* (2020).

3.7 Appendices

TABLE 2. Bioclimatic variables provided by WorldClim. In bold the variables used in this study.

| Variable | Description |
|--------------|---|
| BIO1 | Annual Mean Temperature |
| BIO2 | Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp)) |
| BIO3 | Isothermality (BIO2/BIO7) (×100) |
| BIO4 | Temperature Seasonality (standard deviation ×100) |
| BIO5 | Max Temperature of Warmest Month |
| BIO6 | Min Temperature of Coldest Month |
| BIO7 | Temperature Annual Range (BIO5-BIO6) |
| BIO8 | Mean Temperature of Wettest Quarter |
| BIO9 | Mean Temperature of Driest Quarter |
| BIO10 | Mean Temperature of Warmest Quarter |
| BIO11 | Mean Temperature of Coldest Quarter |
| BIO12 | Annual Precipitation |
| BIO13 | Precipitation of Wettest Month |
| BIO14 | Precipitation of Driest Month |
| BIO15 | Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation) |
| BIO16 | Precipitation of Wettest Quarter |
| BIO17 | Precipitation of Driest Quarter |
| BIO18 | Precipitation of Warmest Quarter |
| BIO19 | Precipitation of Coldest Quarter |

TABLE 3. Performance evaluation of models generated by Maxent.

| Models | AUC | Threshold |
|------------------------------|-------|-----------|
| Present | 0.824 | 0.72 |
| Optimistic Future (RCP2.6) | 0.895 | 0.80 |
| Pessimistic Future (RCP 8.5) | 0.865 | 0.83 |

TABLE 4. Areas foreseen as adequate in Km² for each modeled time.

| Specie | Area estimated as adequate (km ²) | | |
|--------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| | Present | 2080-2100 (RCP 2.6) | 2080-2100 (RCP 8.5) |
| <i>Steneotarsonemus spinki</i> | 7.142.500 | 4.897.500 | 13.072.500 |

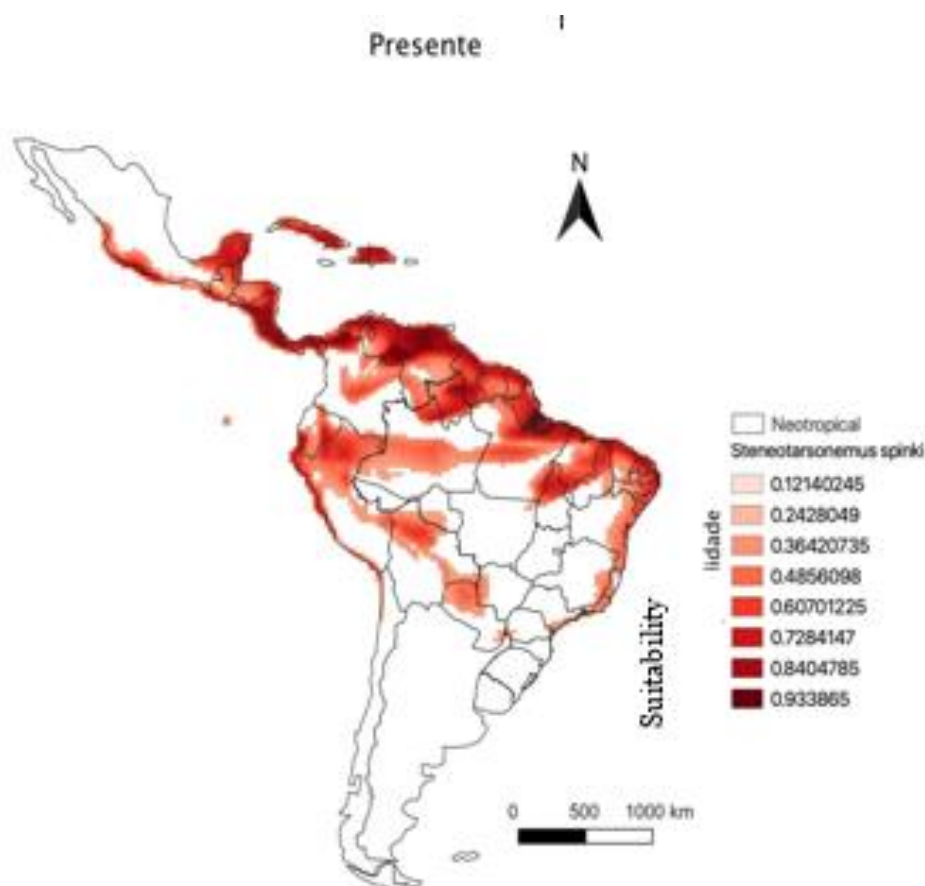
FIGURE 1. Model of environmental suitability for the future within the pessimistic scenario (RCP 8.5) generated in the Maxent algorithm for the species *Steneotarsonemus spinki*. The area estimated as adequate by the model, after applying the cut limit is 13,072,500 km².

FIGURE 2. Model Environmental suitability for the future within the optimistic scenario (RCP 2.6) generated in the Maxent algorithm for the species *Steneotarsonemus spinki*. The area estimated as adequate by the model, after applying the cut limit is 4,897,500 km².

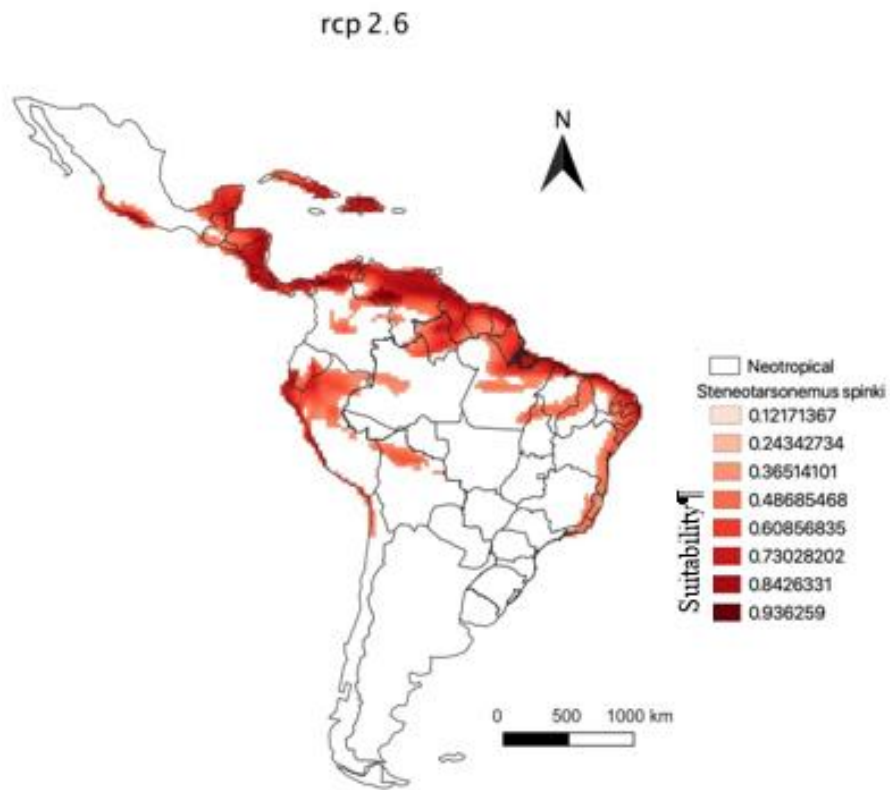


FIGURE 3. Model Environmental suitability for the future within the pessimistic scenario (RCP 8.5) generated in the Maxent algorithm for the species *Steneotarsonemus spinki*. The area estimated as adequate by the model, after applying the cut limit is 13.072.500 km².

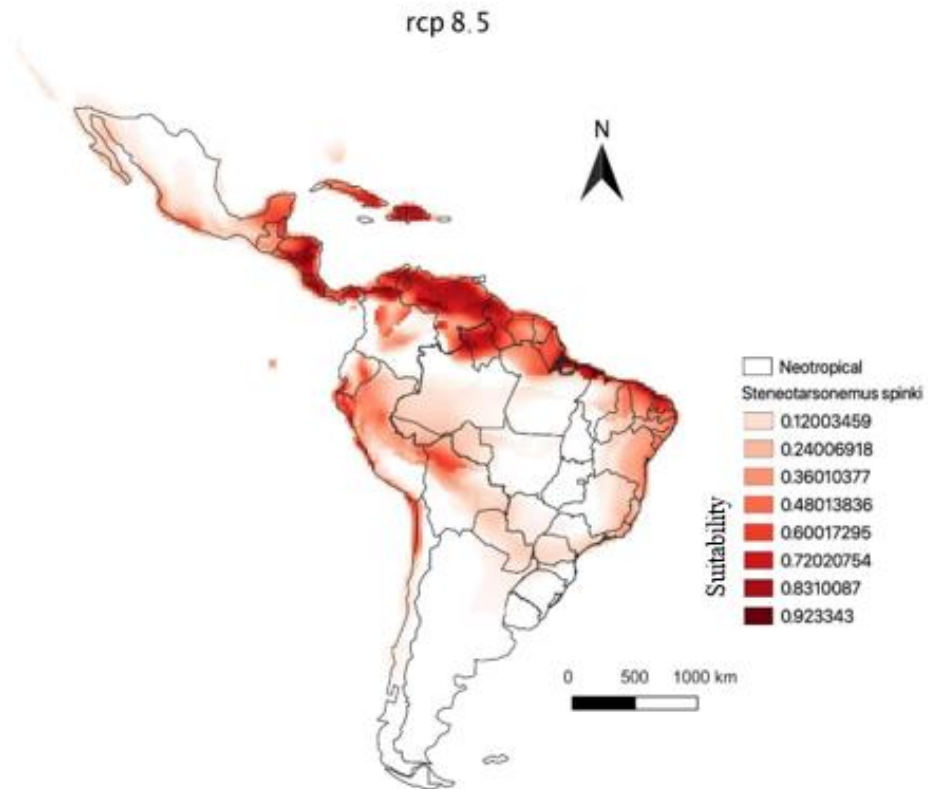
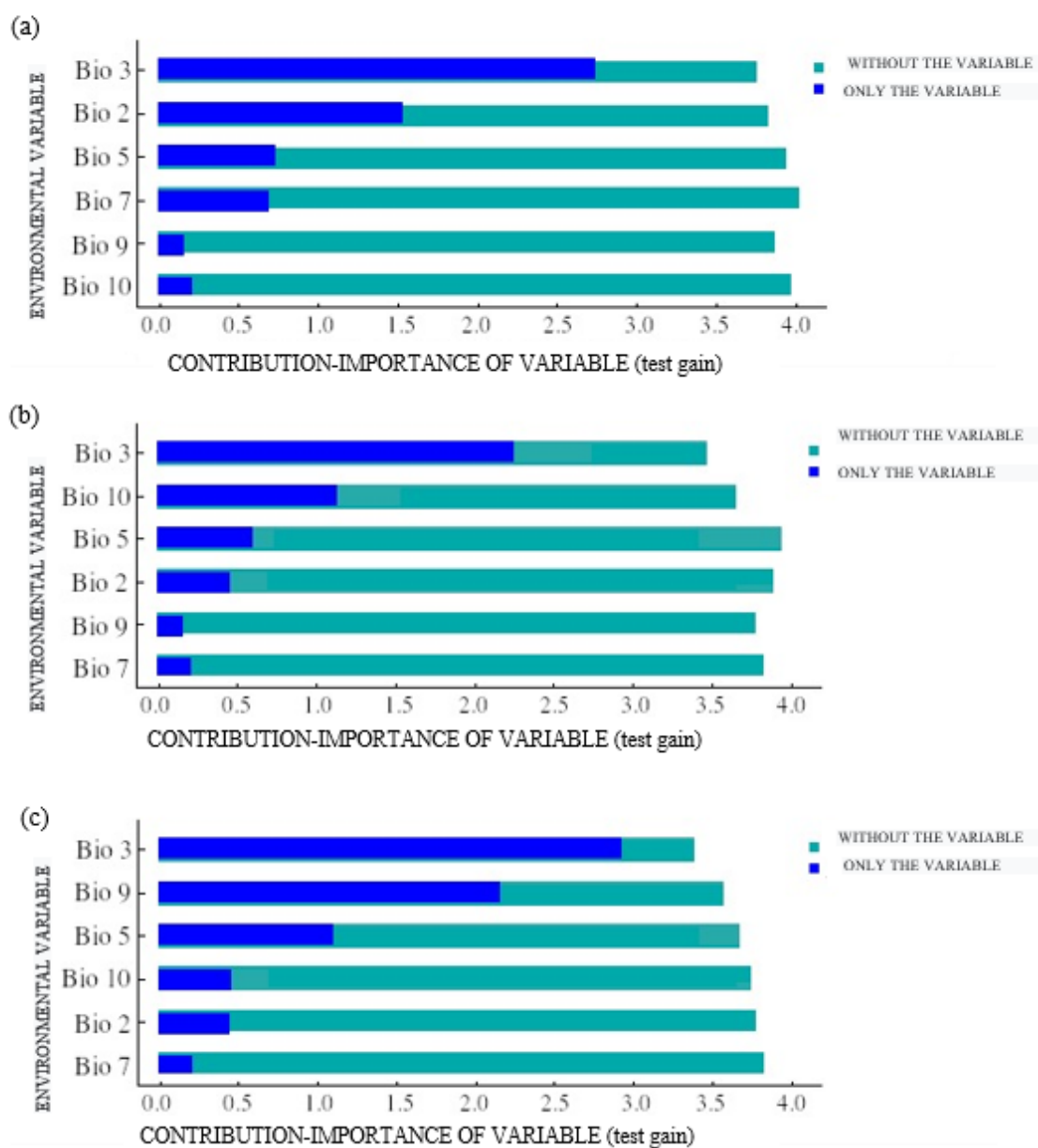


FIGURE 4. Contribution of each variable to the construction of models based on Jackknife, where (a) present model, (b) RCP 2.6 and (c) CCSM RCP 8.5.



4 ARTIGO 2 – CLIMATE CHANGE IN THE CURRENT AND FUTURE DISTRIBUTION OF QUARANTINE MITE, *BREVIPALPUS CHILENSIS* BAKER, 1949 IN SOUTH AMERICA*

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto das mudanças climáticas na distribuição potencial de *Brevipalpus chilensis* na América do Sul, em cenário atual e futuro. Para tanto foi utilizado o algoritmo Maxent com base em 15 registros independentes e seis variáveis bioclimáticas (bio 3-Isotermalidade; bio4-sazonalidade de temperatura; bio 6-temperatura mínima do mês mais frio; bio 8-média do quarto de ano mais úmido; bio 14- precipitação do mês mais seco; bio 16-precipitação do quadrimestre mais úmido) sob três cenários: presente, futuro otimista (RCP 2.6) e futuro pessimista (RCP8.5) do IPCC5. A variável bio6 foi a que apresentou a informação mais útil para determinar a ocorrência da espécie no presente e nos tempos futuros foi a variável bio 14. Houve diferença entre as áreas previstas como adequadas a presença da espécie entre os modelos. Os resultados indicam que há mais habitats apropriados do que aqueles atualmente ocupados no presente e no modelo futuro pessimista a espécie tende a reduzir sua área de expansão, porém ocupará novas áreas. O risco de estabelecimento da espécie no Brasil existe e pode ser agravado pela disponibilidade de plantas hospedeiras adequadas e a capacidade da espécie em adotar hospedeiros alternativos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the impact of climate change on the potential distribution of *Brevipalpus chilensis* in South America, in the current and future scenario. For this purpose, the Maxent algorithm was used, based on 15 independent records and six bioclimatic variables (bio 3-Isothermality; bio4-temperature seasonality; bio 6-minimum temperature of the coldest month; bio 8-average of the wettest four-month period; bio 14- precipitation of the driest month; bio 16-precipitation of the wettest four-month period) under three scenarios: present, optimistic future (RCP 2.6) and pessimistic future (RCP8.5) of the IPCC5. The variable bio6 was the one that presented the most useful information to determine the occurrence of the species in the present and in future times was the variable bio 14. There was a difference between the areas predicted as

*Artigo formatado conforme as normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

adequate to the presence of the species between the models. The results indicate that there are more suitable habitats than those currently occupied in the present and in the pessimistic future model the species tends to reduce its area of expansion, however, it will occupy new areas. The risk of establishing the species in Brazil exists and can be exacerbated by the availability of suitable host plants and the species' ability to adopt alternative hosts

4.1 Introduction

Climate change has manifested itself in several ways, including global warming. Factors such as temperature and relative humidity are extremely important in the formation of the structure and dynamics of communities composed of ectothermic species, as they directly affect parameters related to the *fitness* and biotic interactions of these species, according Guzmán, Sahún and Montserrat (2018), as well as specific system factors seem to mediate the effects of population dynamics of arthropods guiding survival and dispersion (Walter *et al.*, 2018).

Studies, such as those by Bates and Dulvy (2010), Deutsch *et al.* (2018), Gu *et al.* (2018), Parmesan (2006) and Sunday, Bates and Dulvy (2010), suggest that the effects of global warming on arthropod populations tend to be more pronounced in tropical regions where biological diversity is bigger. Equally, it is worth pointing out that the climate is an important determinant of the latitudinal diversity and dispersion of the species, however most studies do not distinguish between the direct and indirect effects of the climate on the species distribution (Chu *et al.*, 2019). The increase in temperature caused by climate change is designed to negatively affect ecosystems, but some species can respond positively to this factor (Xu *et al.*, 2017). As a result, climate change poses a serious threat to the global phytosanitary scenario, with direct and indirect effects, both in decreasing crop productivity, in the proliferation of pests and in the interaction of both, in changing agricultural practices, changes in planting dates, the indirect effect being the change in geographic distribution (Deutsch *et al.*, 2018).

Phytophagous mites are also affected by climate change and some species with quarantine pest status, including *Brevipalpus chilensis* Baker, 1949 with distribution still restricted to Chile and Argentina (Beard *et al.*, c2015). This species infests several crops, including wine varieties in which damage has been observed with losses greater than 30% in Chilean vineyards, according Zaviezo P. and Palma S. (2002) and Navia *et al.* (2016), making this species one of the most harmful pests for grapevines, as it attacks wine varieties and the damage is more evident in red varieties, such as Cabernet, Semillon and Cot Rouge (González Schultz, 2005). The damage caused by the feeding of this mite causes necrosis on new structures, causing a decrease in leaves and buds; at high densities, they can cause defoliation and death of the affected area (Vargas; Olivares & Cardemil, 2005).

Some studies have been developed using the modeling procedure to understand issues related to the dispersion of mite pest species. These approaches predicted the environmental variables that contributed most to the dispersion of species and the effects of climate change on the distribution and its impacts, thus providing a better understanding of the interactions between species and their environments (Amaro & Morais, 2014; Hill *et al.*, 2011; Meynard; Migeon & Navajas (2013); Morais & Amaro, 2013; Navajas *et al.*, 2013; Migeon *et al.*, 2009; Navia *et al.*, 2016; Navia; Mendonça & Melo, 2005; Negrini *et al.*, 2020; Vásquez-Ordóñez & Parsa, 2014).

Studies of this nature have major importance, since they help to understand the dynamic character of individuals' responses to climate change, while evidencing the need to establish phytosanitary government actions to contain future pest outbreaks in key crops for the country's economic development.

In a pioneering way, the objective of this work was to assess the impact of climate change on the potential distribution of *Brevipalpus chilensis* in Brazil, in the current and

future scenario and to identify the main environmental predictors responsible for the dispersion process of this species using the MaxEnt algorithm.

4.2 Materials and Methods

The occurrence data for *B. chilensis* were obtained through a published scientific article, Beard *et al.*, (c2015) and consultations in the databases of the *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, c2021). During the process of debugging the database, it was observed that the occurrence points are from localities (municipalities) and not from the exact location of the species collection, thus defining the resolution of the spatial scale of the environmental layers for modeling at 0.5° degrees.

15 different occurrence points were obtained, being individually reviewed, and their accuracy was verified. Unreliable and inaccurate points were discarded. This database was used to model the current and future distribution of the species (Tabela 1).

Climatic data was extracted from the Ecoclimate database (c2020), standardized in space and time using Global Atmosphere-Ocean Circulation Models (AOGCM), considering 19 bioclimatic variables (Lima-Ribeiro *et al.*, 2015; Varela; Lima-Ribeiro & Terribile, 2015). EcoClimate offers a set of multitemporal climatic data from the most recent multimodal sets developed by the Coupled Modeling Intercomparison Projects (CMIP5) in past, present and future time periods, in global extensions and 0.5 spatial resolution (Lima-Ribeiro, *et al.*, 2015).

The same variables were used to determine the future distribution models according to the Community Climate System Model CCSM 4 (Community Earth System Model, c2021). The simulations for the future time (2080-2100) included two representative concentration routes (RCPs): RCP2.6 (low emissions scenarios - Optimistic Future), and RCP 8.5 (high emissions scenario - Pessimistic Future).

The bioclimatic variables for the study were selected through Principal Component Analysis (PCA) using Platform R (R Core Team, 2019). The PCA is an exploratory analysis tool and allows to reveal the existence or not of anomalous samples, of relationships between the measured variables and of relationships or groupings between samples (Lyra *et al.*, 2010). The variables that showed a high correlation were removed, here understood as those that presented themselves adhered to the same main vector. The variables used to generate the models were BIO 3 = Isothermality (BIO2 / BIO7) (* 100); BIO 4 = Temperature seasonality (standard deviation * 100); BIO 6 = Minimum temperature of the coldest month; BIO 8 = Average temperature of the wettest quarter; BIO 14 = Precipitation of the driest month; BIO 16 = Precipitation in the wettest quarter (Table 2).

In order to model the current and future distribution of *B.chilensis*, the Maximum Entropy (Maxent) algorithm was used. This method uses presence and absence or background data (= background or pseudo-absence) to estimate the potential partial niche of the species, and is included in a group of methods, which are capable of managing more complex relationships between response and predictor variables that are increasingly being used in species distribution modeling (Elith *et al.*, 2006; Phillips; Anderson & Schapire, 2006). For the geoprocessing of layers, cuts and generation of models, the R Program, R Core Team (2019), was used. Maxent was performed using the Package R "Dismo" (Hijmans & Elith, 2016).

Maxent software version 3.4.1 was used with the following configurations: *auto features* (types of features are selected automatically, depending on the size of the training sample), Random Test Percentage: 30; Percentage of points that will be used in the test step; Regularization Multiplier (RM): 1 (Changes the model's complexity in order to increase or decrease overfitting), the higher the number, the lower the overfitting and

omission error, on the other hand, the overprediction error will increase; Max Number of Background Points: 10000; Replicates: 10; Replicated Run Type: Crossvalidate - which would be equivalent to Jackknife.

Background data (pseudo-absence) were selected at random, keeping the prevalence equal to 0.5 (that is, the number of background records was equal to the number of attendances). In this study, the division of the data group was adopted into: training and test data. The training tests are used to build the model and the test ones are used to test it. To evaluate the models, 70% of the presence and background data were randomly separated to calibrate the models (training data) and 30% to evaluate them (test data). The Maxent algorithm was applied to each data set.

The performance of the models was evaluated using the ROC technique (Receiver Operating Characteristics), produced by plotting the sensitivity against the complement of specificity (1-specificity) for different limit values of the Maxent variable. The area under this curve - AUC, serves as an evaluation measure and its values range from 0 to 1, but values above 0.75 indicate models with acceptable predictive performance (De Marco Junior & Siqueira, 2009; Elith *et al.*, 2006). The accuracy rating for AUC is: 1 excellent; 0.9 good; 0.8 reasonable; 0.7 bad; 0.6 flawed (Chang *et al.*, 2020).

To map the distribution of the species, the models were developed based on all *B. chilensis* occurrence data, and based on the six predictor variables. These data were run with a smaller cut layer, thus avoiding problems of overvaluing the validation values when using large areas, and later projected for a larger area, in this case, South America.

These predictions were converted into presence-absence maps using the minimum presence limit (that is to say, the minimum gross adequacy value associated with an occurrence record). The minimum value predicted for the training sites was used as a threshold, according Phillips, Anderson and Schapire (2006), called "*lowest presence*

threshold" (Pearson *et al.*, 2006). With this method, the sensitivity reaches its maximum value 1 with the evaluation data, but it is extremely sensitive to low sample sizes, according by Bean, Stafford and Brashares (2012), and sometimes predicts the presence of species throughout the study area (Phillips; Anderson & Schapire, 2006). This limit finds the lowest suitability value foreseen for a point of occurrence and assumes that the least suitable habitat in which the species occurs is the minimum suitability value for the species (Liu; Newell & White, 2016). For each model, the areas of *B. chilensis* were *calculated* in different climatic scenarios.

To evaluate the influence of each variable to predict the distribution of species, Jackknife was used, and to test whether the differences observed in the areas predicted as suitable for the presence of the species are, due to chance or not, Prop.test was used (suitable areas, total area), on Platform R. Prop.test can be used to test the null value that the proportions (probabilities of success) in various groups are equal or that they are equal to certain given values.

4.3 Results and Discussion

In the Maxent algorithm, the average values of the AUC (average of all models generated for each period - 10) presented values above 0.8, indicating good reliability and precision, indicates Elith *et al.* (2006), and the values for "*threshold*" were generated - lower values of environmental suitability attributed to a true occurrence point for the species (*Minimum Presence Training*) (Table 3).

Maxent predicted the potential distribution of *B. chilensis* according to the integration of the environmental components and locations of the species, indicating the suitable regions for the species in the darkest areas of the maps, corresponding to the current distribution (Figure 1). For future climate change scenarios, both models

exhibited a robust view with AUCs indicating consistent overall performance and showing a strong perception in forecasting climate change scenarios on a regional scale. The color scale showed in the maps represents a continuum of environmental suitability. Areas in red are considered to have greater climatic conditions for the occurrence of *B. chilensis* (Figure 2).

Evaluating the prediction of the models in number of pixels, converting them into Km² and quantifying the appropriate areas, using the cut-off threshold, for the present model the results indicate that there are more suitable habitats than those currently occupied, with an equivalent area of 325,250 km² (Table 4). This result is expected since the tenuipalpids have the characteristic of being a group that spreads more quickly, both regionally and worldwide (Navajas & Ochoa, 2013). This may also be related to the fact that mites present a wide range of hosts, as is the case of *B. chilensis*, with a plasticity in the ability to adapt to new food sources, which can contribute to a longer stay in the field, occupation of new niches and, as a consequence, favoring population outbreaks (Albuquerque; Hamada & Santos, 2017).

The quantification of the area, suitable for the species to occur, in an optimistic future is approximately 354,500 km², with an increase in the occupied areas and in the pessimistic future, the species tends to reduce its expansion area by 274,250 km², but will occupy new areas (Table 4). It is known that multiple factors, spatial and temporal, determine species distributions, highlights Melguizo-Ruiz *et al.* (2012), however, characteristics such as cryptic coloring, tolerance to extremely low or high temperatures, ability to survive in dry or humid, make mites one of the most successful groups in the process of invasion of new areas (Navajas & Ochoa, 2013). The successful colonization of *B. chilensis* in new places may be associated with its high plasticity and / or resistance, since today the species is found in agroclimatic zones that represent a territorial range

with an average minimum annual temperature of 4.4 °C in the Chile and Argentina (Province of Rio Negro) average temperatures reach 23°C in some areas, and minimum averages at 3°C, indicating the species' ability to develop in a wide temperature range, and also to other factors, such as the absence of competition with species of the same genus, adaptation to new hosts and the absence of natural enemies.

To assess whether the differences observed in the areas predicted to be suitable for the presence of the species are due to chance between the models or not, a proportionality test based on the Chi-square (`pro.test ()` in R) was used. Between the present model and the optimistic rcp2.6 model ($X^2 = 12,906$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.0003275$); and present and the pessimistic rcp8.5 model ($X^2 = 37,666$, $df = 1$, $p\text{-value} = 8,394e-10$), suggesting that the differences between the total area predicted by the models, in each modeled time, is not at random and indicates that the process of climate change will potentially change the distribution of the species in South America. Some examples are mentioned in the literature referring to the capacity of invasion, colonization and establishment of mites, as *Raoiella indicatus* Hirst, 1924 - in the Americas; in Asia by the mite *Aceria guerreronis* Keifer, 1965; in Africa by *Mononychellus tanajoa*, Bondar (1938); Europe by *Tetranychus evansi*, by Pritchard and Baker (1960), and the Americas, Eurasia and Oceania by the *Aceria tosichella* mite (Keifer, 1969) (Navajas & Ochoa, 2013).

Based on the jackknife test implemented in the Maxent software, it was possible to measure the contribution of each variable to the models. In the elaboration of the present model, the variable of greatest contribution was (bio 6) - Minimum temperature in the coldest month; and in the optimistic and pessimistic future models the variable with the greatest contribution was (bio 14) - Precipitation in the driest month. The variables with the greatest contribution were those that provided the greatest gain in the models

when used in isolation, thus containing the most useful information to determine the occurrence of the species, as well as generating the greatest loss of quality in the final model when removed.

The results of this study show that the main environmental variables that influence the distribution of *B. chilensis* are temperature and precipitation. Between these two factors, temperature is the one that most interferes in the biology of mites, influencing the longevity, oviposition and fecundity of species (Silva, 2002). For *B. chilensis*, this factor is directly associated with its development, by Olivares (2017), as the mite does not develop in the cold seasons, according Ripas S. and Larral D. (2008), however differences in survival strategy are observed in relation to the host, where in *Citrus* spp. there is the presence of all stages of its development during the year, decreasing only the number of eggs in winter, differing in deciduous fruit trees, such as the vine (*Vitis vinifera*) and the kiwi (*Actinida delicious*), where the fertilized females *chilensis* hibernate in winter and are able to withstand conditions of high humidity and very low temperatures. The damage caused to vines by the mite depends on the cultivar, the populations of *B. chilensis* are higher in those of French origin, in particular the cultivars Cot Rouge, Semillón and Cabernet Sauvignon and in high infestations they cause the death of the shoots (Fidelis *et al.*, 2018). Some predictive modeling studies with different species of invasive mites found that the most important environmental variables for the dispersion and establishment of mites is related to temperature (Amaro & Morais, 2014; Hill *et al.*, 2011; Meynard; Migeon & Navajas, 2013; Migeon *et al.*, 2009; Morais & Amaro, 2013; Navia *et al.*, 2016; Negrini *et al.*, 2020)

In this study, the other determining factor for the dispersion of *B. chilensis* was rainfall, a condition considered crucial in the maintenance of agricultural ecosystems, decreasing by mechanical action, populations of important pests, according Pedro Neto

et al. (2010), and in the case of heavy rain, mites can negatively affect the development of eggs, resulting in low population density, by Chandrasena *et al.* (2018), and, for the species, the high relative humidity of the air, caused by the precipitation, directly affects the hatching of the eggs and also in the reduction of the laying of the females, being the ideal for their RH development of 50% (González, 1958).

Several studies report that precipitation is a factor that directly influences the development and permanence of mites in different cultures, especially phytophagous, as they suffer from the direct action of rain. Little is known about the correlation of the consequences of altered rainfall patterns in the configuration of *B. chilensis* dispersion (Abreu *et al.*, 2013, 2014; Andrade; Falconi & Pattaro, 2008; Barbara & Romagnoli, 2019; Gouvea *et al.*, 2006).

4.4 Conclusions

1. The current distribution model of *B. chilensis*, after applying the threshold, indicates that there are more suitable habitats than those currently occupied by the species;
2. In the optimistic future distribution model there is an increase in the occupied areas and, in the pessimistic future, there is scope for similar areas, with a reduction in the expansion of the species dispersion, However, the species will occupy new places;
3. The main environmental predictors responsible for the process of dispersion, colonization and establishment of *B. chilensis* are temperature and precipitation;
4. The risk of introducing and establishing this pest in Brazil exists when taking into account the pathways of entry into neighboring countries, their bioecological characteristics, aggravated by the conditions of future climate

change, availability of suitable host plants, including fruit and ornamental plants, many of which are grown in several Brazilian regions and the pest's ability to survive the great thermal amplitude, indicating a sum of favorable conditions for its development in Brazil.

4.5 References

ABREU, F. A. *et al.* Efeito da chuva na incidência de ácaros fitófagos e predadores em cafeeiro. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 8., 2013, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: Universidade Federal de Viçosa, 2013. Available in: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/3799>. Access on: 18 jul. 2021.

ABREU, F. A. *et al.* Influência da precipitação pluvial na abundância de ácaros em cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 329-335, 2014. Available in: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8057>. Access on: 18 jul. 2021.

ALBUQUERQUE, F. A.; HAMADA, E.; SANTOS, J. O. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins. *In: BETTIOL, W. (Ed.) et al. Aquecimento global e problemas fitossanitários*. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 410-439. Available in: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165241/1/2017LV03.pdf>. Access on: 18 jul. 2021.

AMARO, G. C.; MORAIS, E. G. F. **Distribuição geográfica potencial do ácaro-vermelho-das-palmeiras na América do Sul**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2014. Available in: https://www.researchgate.net/publication/265216930_Distribuicao_Geografica_Potencial_do_Acaro-vermelho-das-palmeiras_na_America_do_Sul. Access on: 18 jul. 2021.

ANDRADE, D. J.; FALCONI, R. S.; PATTARO, F. C. Efeito do déficit hídrico e da presença do vírus da leprose dos citros na temperatura foliar e sua relação com a população de *Brevipalpus phoenicis* e a severidade da doença em plantas cítricas. **Citrus R&T**, Cordeirópolis, v. 29, n. 1-2, p. 1-15, 2008. Available in: <https://www.citrusrt.cesm.br/article/59a4506e0e8825ca1a79dc95/pdf/citrusrt-29-1-2-1.pdf>. Access on: 18 jul. 2021.

BARBARA, G.; ROMAGNOLI, M. J. Sazonalidade dos principais ácaros na citricultura de uma fazenda localizada no município de Santa Fé do Sul/SP. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 315-326, 2019. Available in: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2019A/sazonalidade.pdf>. Access on: 18 jul. 2021.

BEAN, W. T.; STAFFORD, R.; BRASHARES, J. S. The effects of small sample size and sample bias on threshold selection and accuracy assessment of species distribution models. *Ecography*, Lund, v. 35, p. 250–258, 2012. Available in:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-0587.2011.06545.x>. Access on: 18 jul. 2021.

BEARD, J. J. *et al.* **Flat mites of the world**. University of Maryland, c2015. Disponível em: <http://idtools.org/id/mites/flatmites>. Acesso em: 17 jul. 2021.

CHANDRASENA, G. D. S. N. *et al.* Temporal distribution of rice sheath mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) as influenced by the climatic parameters in the low-country wet zone of Sri Lanka. *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*, Colombo, v. 4, p. 1–8, 2018. Available in: <http://doi.org/10.4038/sljfa.v4i1.52>. Access on: 18 jul. 2021.

CHANG, Y. L. *et al.* Maxent modelling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Anabasis aphylla* in northwestern China. *Applied Ecology and Environmental Research*, Amsterdam, v. 18, p. 1637–1648, 2020. Available in: http://www.aloki.hu/pdf/1801_16371648.pdf. Access on: 18 jul. 2021.

CHU, C. *et al.* Direct and indirect effects of climate on richness drive the latitudinal diversity gradient in forest trees. **Ecology Letters**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 245-255, feb. 2019.

COMMUNITY EARTH SYSTEM MODEL. c2021. Available in: <https://www.cesm.ucar.edu/>. Access on: 22 jul. 2021.

DE MARCO JUNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, [S. l.], v. 5, n. 1-2, dez. 2009.

DEUTSCH, C. A. *et al.* Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. **Science**, Washington, v. 361, n. 6405, p. 916-919, aug. 2018. Available in: <https://science.sciencemag.org/content/361/6405/916>. Access on: 18 jul. 2021.

ECOCLIMATE. c2020. Available in: <https://www.ecoclimate.org/>. Access on: 22 jul. 2021.

ELITH, J. *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, Washington, v. 29, n. 2, p. 129-151, mar. 2006. Available in: <http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>. Access on: 18 jul. 2021.

FIDELIS, E. G. *et al.* **Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108710/priorizacao-de-pragas-quarentenarias-ausentes-no-brasil>. Acesso em: 17 jul. 2021.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY. Free and open access to biodiversity data. **GBIF**, c2021. Available in: <https://www.gbif.org/>. Access on: 22 jul. 2021.

GONZÁLEZ, R. H. Biología y control de la falsa araña de la vid, *Brevipalpus chilensis* Baker (Acarina: Phytoptipalpidae). **Boletim Técnico**, Santiago, n. 1, 1958.

GONZÁLEZ SCHULTZ, A. E. **Comportamiento poblacional y distribución espacial**

de *Brevipalpus chilensis* Baker en Vid inífera (*Vitis vinifera*) y dispersión del ácaro depredador *Typhlodromus pyri*. 2005. (Taller de Licenciatura em Fruticultura) – Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile, 2005. Available in: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/29662>. Access on: 20 jul. 2021.

GOUVEA, A. *et al.* Dinâmica populacional de ácaros (Acari) em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.: Aquifoliaceae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 101–111, jan./feb. 2006. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000100014>. Access on: 18 jul. 2021.

GU, S. *et al.* Climate change favours a destructive agricultural pest in temperate regions: late spring cold matters. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 91, p. 1191–1198, 2018.

GUZMÁN, C.; SAHÚN, R. M.; MONTSERRAT, M. Differential effects of abiotic conditions on fitness-related parameters of two *Euseius* species inhabiting avocado agroecosystems. **BioControl**, Dordrecht, v. 63, p. 585–594, mar. 2018.

HIJMANS, R. J.; ELITH, J. Package ‘dismo’. **The Comprehensive R Archive Network**, 2020. Available in: <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>. Access on: 9 oct. 2021.

HILL, M. P. *et al.* Understanding niche shifts: using current and historical data to model the invasive redlegged earth mite, *Halotydeus destructor*. **Diversity and Distributions**, Washington, v. 18, n. 2, p. 191–203, 24 oct. 2011. Available in: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00844.x>. Access on: 17 jul. 2021.

LIMA-RIBEIRO, M. S. *et al.* EcoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. **Biodiversity Informatics**, v. 10, p. 1–21, aug. 2015. Available in: https://www.researchgate.net/publication/281205358_EcoClimate_a_database_of_climate_data_from_multiple_models_for_past_present_and_future_for_macroecologists_and_biogeographers. Access on: 17 jul. 2021.

LIU, C.; NEWELL, G.; WHITE, M. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. *Ecology and Evolution*, London, v. 6, n. 1, p. 337–348, dec. 2016. Available in: <https://doi.org/10.1002/ece3.1878>. Access on: 18 jul. 2021.

LYRA, W. S. *et al.* Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *Educação: Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1594–1597, 2010. Available in: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700030>. Access on: 18 jul. 2021.

MELGUIZO-RUIZ, N. *et al.* Potential drivers of spatial structure of leaf-litter food webs in south-western European beech forests. **Pedobiologia**, Munich, v. 55, n. 6, p. 311–319, nov. 2012.

MEYNARD, C. N.; MIGEON, A.; NAVAJAS, M. Uncertainties in Predicting Species Distributions under Climate Change: a case study using *tetranychus evansi*. **Plos One**, Cambridge, v. 8, n. 6, jun. 2013. Available in: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066445>. Access on: 18 jul. 2021.

MIGEON, A. *et al.* Modelling the potential distribution of the invasive tomato red spider mite, *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, Berlin, v. 48, n. 3, p. 199-212, jan. 2009.

MORAIS, E. G. F.; AMARO, G. Distribuição geográfica potencial do ácaro-hindustânico-dos-citros (*Schizotetranychus hindustanicus* Hirst) baseada no modelo Maxent. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ACAROLOGIA, 4., 2013, Bento Gonçalves. **Anais** [...]. Bento Gonçalves: Embrapa, 2013. Available in: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/983098/distribuicao-geografica-potencial-do-acaro-hindustanico-dos-citrus-schizotetranychus-hindustanicus-hist-baseada-no-modelo-maxent>. Access on: 18 jul. 2021.

NAVAJAS, M. *et al.* Review of the invasion of *Tetranychus evansi*: biology, colonization pathways, potential expansion and prospects for biological control. *Experimental and Applied Acarology*, Dordrecht, v. 59, p. 43–65, 2013.

NAVAJAS, M.; OCHOA, R. Integrating ecology and genetics to address Acari invasions. *Experimental and Applied Acarology*, Dordrecht, v. 59, p. 1-10, 2013. Available in: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10493-012-9636-8>. Access on: 18 jul. 2021.

Negrini, D. *et al.* Spatial forecasting of red palm mite in Brazil under current and future climate change scenarios. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 5, p. 586-598, may 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500020>. Acesso em: 17 jul. 2021.

NAVIA, D.; MENDONÇA, R. S.; MELO, L. A. M. P. *Steneotarsonemus spinki*: an invasive tarsonemid mite threatening rice crops in South America. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. Available in: https://www.researchgate.net/publication/228744573_Steneotarsonemus_spinki-an_invasive_tarsonemid_mite_threatening_rice_crops_in_South_America. Access on: 15 ago. 2020.

NEGRINI, M. *et al.* Mapping of the *Steneotarsonemus spinki* invasion risk in suitable areas for rice (*Oryza sativa*) cultivation using MaxEnt. **Experimental and Applied Acarology**, Berlin, v. 80, n. 3, p. 445-461, feb. 2020.

OLIVARES, N. Falsa aranita roja de la vid. In: VARGAS, R. **Manejo de plagas de palto y cítricos**. Santiago: Instituto Nacional de Investigación Agropecuária, 2017. p. 252-259.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 637-669, dec. 2006.

PEARSON, R. G. *et al.* Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar: predicting species distributions with low sample sizes. *Journal of Biogeography*, Oxford, v. 34, n. 1, p. 102-117, jan. 2006.

PEDRO NETO, M. *et al.* Influência do regime pluviométrico na distribuição de ácaros em cafeeiros conduzidos em sistemas orgânico e convencional. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 67-71, jan./apr. 2010. Available in: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/263>. Access on:

15 ago. 2020.

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

PRADO C., E. **Artrópodos y sus enemigos naturales asociados a plantas cultivadas en Chile**. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1991. Available in: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/37317>. Access on: 17 jul. 2021.

R CORE TEAM. The R project for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2019. Available in: <https://www.r-project.org/>. Access on: 18 jul. 2021.

RIPAS S., R.; LARRAL D., P. Manejo de la falsa araña de la vid cítricos. **Tierra Adentro**, Santiago, n. 78, p. 14-16, mar./apr. 2008. Available in: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6357>. Access on: 18 jul. 2021.

SILVA, C. A. D. Biología e exigências térmicas do ácaro-vermelho (*Tetranychus ludeni* Zacher) em folhas de algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, p. 573–580, may. 2002. Available in: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500001>. Access on: 20 jul. 2021.

SUNDAY, J. M.; BATES, A. E.; DULVY, N. K. Global analysis of thermal tolerance and latitude in ectotherms. **Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 278, n. 1713, p. 1823-1830, nov. 2010. Access on: 20 jul. 2021.

VARELA, S.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; TERRIBILE, L. C. A Short guide to the climatic variables of the last glacial maximum for biogeographers. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 10, n. 6, p. 1-15, jun. 2015. Available in: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129037>. Access on: 20 jul. 2021.

VARGAS, M. P. R.; OLIVARES, N.; CARDEMIL, O. A. Desarrollo postembrionario y parámetros de tabla de vida de *Typhlodromus pyri* Scheuten, *Cydnodromus californicus* (McGregor) (Acarina: phytoseiidae) y *Brevipalpus chilensis* Baker (acarina: Tenuipalpidae). **Agricultura Técnica**, Santiago, v. 65, n. 2, p. 147-156, jun. 2005.

VÁSQUEZ-ORDÓÑEZ, A. A.; PARSA, S. A geographic distribution database of *Mononychellus* mites (Acari, Tetranychidae) on cassava (*Manihot esculenta*). **Zookeys**, Cali, v. 407, p. 1-8, may 2014. Available in: <http://dx.doi.org/10.3897/zookeys.407.7564>. Access on: 17 jul. 2021.

WALTER, J. A. *et al.* Life history and habitat explain variation among insect pest populations subject to global change. **Ecosphere**, Washington, v. 9, n. 5, e02274, p. 1-13, may. 2018. Available in: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2274>. Access on: 20 jul. 2021.

XU, X. *et al.* Effects of climate change on the potentially suitable climatic geographical range of *Liriodendron chinense*. **Forests**, Basel, v. 8, p. 1-14, 2017. Available in: <https://doi.org/10.3390/f8100399>. Access on: 20 jul. 2021.

ZAVIEZO P., T.; PALMA S., F. Alternativas de manejo de falsa araña de la vid en viñedos orgánicos. **Revista Agronomía y Forestal UC**, Santiago, n. 14, p.4–8, 2002. Available in:

http://agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/pid,101/sid,888/. Access on: 20 jul. 2021.

4.6 Annexes

TABLE 1. Database of *Brevipalpus chilensis* (False spider of the vine) used for the generation of the models.

| Locations | Latitude | Logitude | References |
|----------------------|----------|----------|---|
| Chile | -34.63 | -71.12 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.45 | -70.67 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.37 | -70.75 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.7 | -71.22 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.28 | -70.88 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.58 | -70.63 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -34.38 | -72.02 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.58 | -70.45 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -34.63 | -71.35 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -34.45 | -70.98 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.47 | -70.65 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -33.58 | -70.63 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -35.55 | -71.73 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Chile | -35.56 | -71.74 | <i>Biodiversity Information Facility</i> GBIF |
| Argentina, Rio Negro | -40.72 | -63.2 | Beard, J.J et.al., 2012 |

4.7 Appendices

TABLE 2. Bioclimatic variables provided by WorldClim. In bold the variables used in this study.

| Variable | Description |
|--------------|--|
| BIO1 | Annual Mean Temperature |
| BIO2 | Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp)) |
| BIO3 | Isothermality (BIO2/BIO7) (×100) |
| BIO4 | Temperature Seasonality (standard deviation ×100) |
| BIO5 | Max Temperature of Warmest Month |
| BIO6 | Min Temperature of Coldest Month |
| BIO7 | Temperature Annual Range (BIO5-BIO6) |
| BIO8 | Mean Temperature of Wettest Quarter |
| BIO9 | Mean Temperature of Driest Quarter |
| BIO10 | Mean Temperature of Warmest Quarter |
| BIO11 | Mean Temperature of Coldest Quarter |
| BIO12 | Annual Precipitation |
| BIO13 | Precipitation of Wettest Month |
| BIO14 | Precipitation of Driest Month |
| BIO15 | Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation) |
| BIO16 | Precipitation of Wettest Quarter |
| BIO17 | Precipitation of Driest Quarter |
| BIO18 | Precipitation of Warmest Quarter |
| BIO19 | Precipitation of Coldest Quarter |

TABLE 3. Performance evaluation of models generated by Maxent.

| Models | AUC | Threshold |
|------------------------------|-------|-----------|
| Present | 0.861 | 0.1499 |
| Optimistic Future (RCP2.6) | 0.830 | 0.1768 |
| Pessimistic Future (RCP 8.5) | 0.886 | 0,1619 |

TABLE 4. Areas foreseen as adequate in Km² for each modeled time.

| Specie | Area estimated as adequate (km ²) | | |
|------------------------------|---|------------------------|------------------------|
| | Present | 2080-2100 (RCP 2.6) | 2080-2100 (RCP 8.5) |
| <i>Brevipalpus chilensis</i> | 325.250 (100%) | 354.500 (108,99%) | 274.250 (84.32%) |

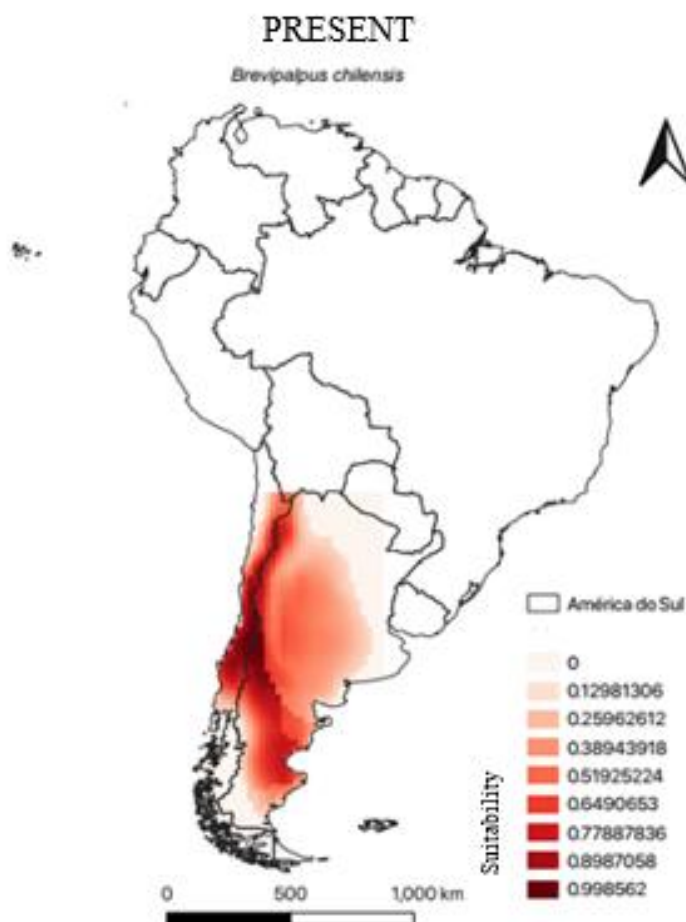
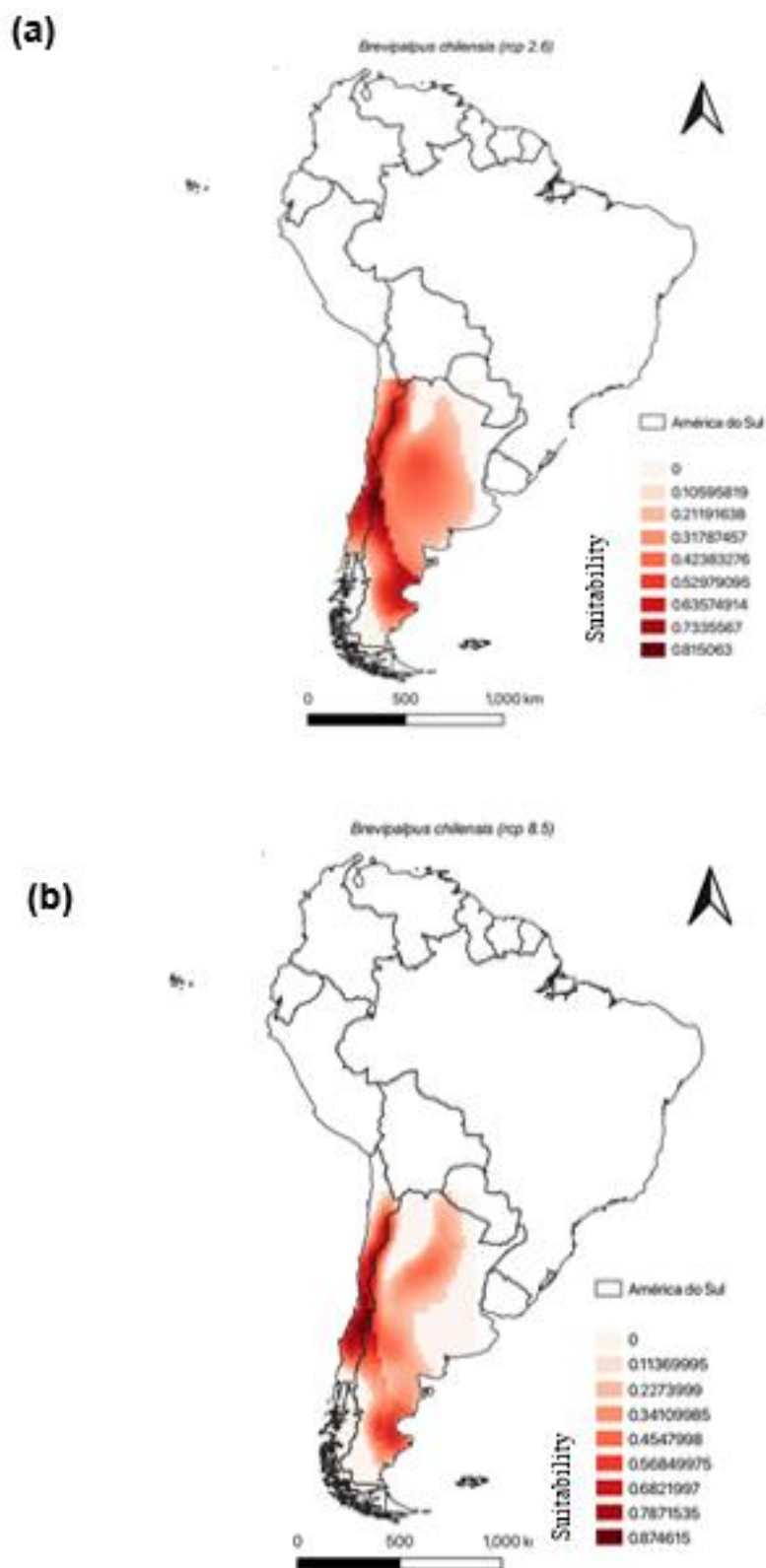
FIGURE 1. Presentation of the models generated by the Maxent algorithm for the species *Brevipalpus chilensis* at the present time, after applying the threshold (minimum training presence).

FIGURE 2. Presentation of the models generated by the Maxent algorithm for the species *Brevipalpus chilensis* for the future optimistic (RCP 2.8) (a) and pessimistic (RCP 8.5) (b), after application of the threshold (minimum training presence).



5 CONCLUSÕES GERAIS

Nas condições em que o estudo foi realizado conclui-se que:

Na geração dos modelos presente observa-se que há mais habitats apropriados do que atualmente ocupados para ambas espécies.

As preditoras ambientais responsável pelo processo de dispersão, colonização e estabelecimento das espécies foram isothermalidade para *Steneotarsonemus spinki*; temperatura mínima e precipitação para *Brevipalpus chilensis*.

Nos modelos gerados no futuro pessimista para *S. spinki* há abrangência territorial, com aumento expressivo de áreas favoráveis para o estabelecimento da espécie; e para *B. chilensis* há abrangência de regiões similares, com redução da expansão da dispersão, contudo a espécie ocupará novos locais.

O risco de introdução, estabelecimento e dispersão das espécies no Brasil existe, sendo esta observação notável para *S.spinki* e esta situação pode ser agravada para ambas, por alterações climáticas futuras, disponibilidade de plantas hospedeiras adequadas e capacidade das pragas em adotar hospedeiros alternativos e sobreviverem em grande amplitude térmica.