



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" INSTITUTO DE
BIOCIÊNCIAS – CÂMPUS DE BOTUCATU (IBB/UNESP)
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA)

Amanda Ravazi

**Mudanças climáticas e ambientais e seus potenciais efeitos na
dinâmica da doença de Chagas: hibridação em Rhodniini (Hemiptera,
Triatominae)**

Botucatu

2023

Amanda Ravazi

**Mudanças climáticas e ambientais e seus potenciais efeitos na
dinâmica da doença de Chagas: hibridação em Rhodniini (Hemiptera,
Triatominae)**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) do Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu.

Orientador: Prof. Dr. Kaio Cesar Chaboli Alevi

Coorientador: Dr. Jader de Oliveira

Agencia financiadora: CNPq (nº 140749/2019-5)

Botucatu

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Ravazi, Amanda.

Mudanças climáticas e ambientais e seus potenciais efeitos na dinâmica da doença de Chagas : hibridação em *Rhodniini* (Hemiptera, Triatominae) / Amanda Ravazi. - Botucatu, 2023

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Kaio Cesar Chaboli Alevi

Coorientador: Jader de Oliveira

Capes: 20400004

1. Chagas, Doença de. 2. Triatominae. 3. Mudanças climáticas. 4. Aspectos ambientais.

Palavras-chave: Cruzamentos experimentais; Doença de Chagas; Híbridos; Triatomíneos.

Amanda Ravazi

**Mudanças climáticas e ambientais e seus potenciais efeitos na
dinâmica da doença de Chagas: hibridação em Rhodniini (Hemiptera,
Triatominae)**

Tese apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Ciências
Biológicas (Zoologia) junto ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) do
Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Câmpus de Botucatu.

Comissão examinadora

Prof. Dr. Kaio Cesar Chaboli Alevi
IOC/FIOCRUZ
Orientador

Profa. Dra. Lilian Castiglioni
FAMERP

Prof. Dr. Luis Lenin Vicente Pereira
UNIJALES

Profa. Dra. Maria Tercília Vilela de Azeredo Oliveira
IBILCE/UNESP

Profa. Dra. Elaine Folly-Ramos
UFPB

Botucatu

2023

Dedicatória

Dedico esta conquista aos meus pais, Valéria Ravazi e Ricardo Ravazi, que mesmo diante de toda dificuldade nunca deixaram de acreditar em mim.

Ao meu irmão, Pedro Ravazi, que sempre me apoiou e esteve presente em cada conquista da minha vida.

Ao meu noivo, Gabriel Lois, que sempre esteve ao meu lado, vibrando e me incentivando em cada momento.

Á Deus, dedico toda minha gratidão por tamanho amor.

E por fim, mas não menos importante, ao meu querido tio Valdemar Rebollo Júnior (*in memoriam*), dedico todo o meu sonho e realização.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por toda bondade e amor comigo, que sempre me proporcionou o necessário para o cumprimento dos seus sonhos em minha vida. Agradeço por tamanho carinho e fidelidade de suas promessas.

Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Kaio Cesar Chaboli Alevi, por todas as oportunidades de crescimento pessoal e profissional, por toda a paciência e carinho. Agradeço por me ensinar diariamente o quanto podemos ser justos e o quanto podemos nos esforçar para alcançar aquilo que desejamos. Por muitas vezes, o seu amor pela ciência permitiu que eu acreditasse em mim mesma. A você, o meu muito obrigada!

À Profa. Dra. Maria Tercília Vilela de Azeredo Oliveira e ao Prof. Dr. João Aristeu da Rosa, pelo apoio científico, financeiro e por permitir que as atividades fossem realizadas no Laboratório de Biologia Celular do IBILCE/UNESP e no Insetário de Triatominae da FCFAR/UNESP.

Às minhas amigas e companheiras de laboratório, Fernanda Fernandez Madeira e Ana Beatriz Bortolozo de Oliveira, por todos os momentos de alegria compartilhados, risadas, momentos de desespero e todos os auxílios que eu recebi quando precisei. Vocês fizeram e fazem a diferença em todo este tempo. A vocês, o meu muito obrigada!

Aos meus colegas de laboratório, pela convivência e possibilidade de crescimento pessoal e profissional. A vocês, o meu muito obrigada!

Aos meus pais, Valéria Ravazi e Ricardo Ravazi, por serem a minha base em todos os sentidos e por acreditarem em mim incansavelmente. Agradeço diariamente por serem vocês os pais que Deus desejou me dar, por serem meus modelos de amor e fidelidade. A vocês, o meu muito obrigada!

Ao meu irmão, Pedro Ravazi, por me formar como pessoa, por me ensinar o sentido de partilhar e por ter sido um motivo para que eu pudesse seguir em frente. Quero que sinta um décimo do orgulho que eu sinto por você. Agradeço por encontrar em você o meu porto seguro. A você, o meu muito obrigada!

Ao meu noivo e futuro marido, Gabriel Lois, por me escolher para dividir a vida e me ensinar sempre o valor de um amor sincero. Agradeço pelo seu apoio incondicional em cada segundo da minha vida e pelo seu carinho e doação. Sem você nada disso teria o sentido que tem hoje. A você, o meu muito obrigada!

Aos meus avós maternos, Neide Rebollo e Valdemar Rebollo, e paternos, Maria José Ravazi (*in memoriam*) e Nelson Ravazi (*in memoriam*), pela simplicidade no olhar, no falar, no agir e no amar, que em tantos momentos me proporcionaram a vontade de poder dar o meu melhor. Por vezes, no pouco, me fizeram ter a certeza que a vida vale a pena. A vocês, o meu muito obrigada!

As minhas tias, Rosimeire Ravazi, Renata Melo e Vera Helderman, e aos meus tios, Atayde Melo e Euler Ayer (*in memoriam*), por toda a ajuda financeira e emocional. Nos momentos mais difíceis estiveram comigo, me estenderam as mãos e os seus corações quando eu precisei. A vocês, o meu muito obrigada!

De forma especial, agradeço ao meu tio Valdemar Rebollo Junior (*in memoriam*), por me fazer entender que a vida merece ser vivida até o último segundo. Por me fazer lembrar o quanto é bom sorrir e o quanto sou capaz de levar alegria onde mora tristeza. Por me fazer acreditar que mereço ser feliz e, principalmente, por me mostrar que tenho apenas o hoje. A você, o meu eterno muito obrigada!

Aos meus amigos, Maria Izabel Salioni e Matheus Castro, por darem o seu melhor em minha vida e por dedicarem as suas orações a mim. Agradeço por estarem presentes fisicamente em todas as minhas lutas e conquistas e, principalmente, por decidirem passar por todas elas ao meu lado. A vocês, o meu muito obrigada!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), pela bolsa concedida (Processo nº 140749/2019-5)

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que participaram desta conquista!

"Nem olhos viram, nem ouvidos ouviram, nem jamais penetrou em coração humano o que Deus tem preparado para aqueles que o amam."

(1 Coríntios 2:9)

Resumo

A influência do homem na integridade das espécies, com possibilidade de eventos de hibridação entre espécies isoladas, é conhecida desde a década de 1930. Embora as mudanças na estrutura das comunidades influenciadas pelas alterações climáticas e ambientais vêm sendo examinadas, poucos estudos têm analisado como essas mudanças afetam diretamente nas interações reprodutivas entre as espécies. Diante desse cenário, barreiras reprodutivas físicas, temporais e comportamentais estão sendo alteradas, o que pode acarretar no aumento da probabilidade de hibridação, resultando potencialmente em eventos de introgressão, especiação ou, até mesmo, extinção. Levando em consideração a importância epidemiológica dos triatomíneos e que estudos de hibridação podem ajudar a compreender a sistemática e auxiliar no conhecimento dos mecanismos de isolamento que limitam o fluxo gênico entre as diferentes espécies, o presente projeto tem como objetivo principal analisar as interações reprodutivas dos vetores da doença de Chagas agrupados na tribo Rhodniini, por meio de cruzamentos experimentais e análise da viabilidade dos híbridos. Cruzamentos foram realizados entre *Rhodnius brethesi* x *R. pictipes*, *R. colombiensis* x *R. ecuadoriensis*, *R. neivai* x *R. prolixus*, *R. robustus* x *R. prolixus*, *R. montenegrensis* x *R. marabaensis*; *R. montenegrensis* x *R. robustus*, *R. prolixus* x *R. nasutus* e *R. neglectus* x *R. milesi*. Além disso, a taxa de oviposição e eclosão foram calculadas. Todos os cruzamentos resultaram em híbridos em pelo menos uma das direções do cruzamento. Diante das mudanças antropogênicas, reorganizações na distribuição das espécies estão ocorrendo, o que pode aumentar a probabilidade de encontros entre espécies alopátricas em condições naturais. Nossos resultados demonstram que tanto as espécies alopátricas quanto as simpátricas de *Rhodnius* produzem híbridos, o que pode gerar preocupação para os órgãos de saúde pública. Assim, demonstramos que espécies da tribo Rhodniini são capazes de produzir híbridos em condições de laboratório. Esses resultados são de grande importância epidemiológica e levantam uma importante discussão sobre a influência das interações climáticas e ambientais na dinâmica da doença de Chagas.

Palavras-chave: Triatomíneos; Híbridos; Cruzamentos experimentais; doença de Chagas

Abstract

The influence of man on the integrity of species, with the possibility of hybridization events between isolated species, has been known since the 1930s. Although changes in the structure of communities influenced due to climate and environmental changes have been examined, few studies have analyzed how these changes directly affect the reproductive interactions between species. Given this scenario, physical, temporal and behavioral reproductive barriers are being changed, which may lead to an increase in the probability of hybridization, potentially resulting in introgression, speciation or even extinction events. Taking into account the epidemiological importance of triatomines and that hybridization studies can help to understand the systematics and help in the knowledge of the isolation mechanisms that limit the gene flow between the different species, the present project had as main objective to analyze the reproductive interactions of the Chagas disease vectors grouped in the Rhodniini tribe, through experimental crossings and analysis of the viability of the hybrids. Crosses were performed between *Rhodnius brethesi* x *R. pictipes*, *R. colombiensis* x *R. ecuadoriensis*, *R. neivai* x *R. prolixus*, *R. robustus* x *R. prolixus*, *R. montenegrensis* x *R. marabaensis*; *R. montenegrensis* x *R. robustus*, *R. prolixus* x *R. nasutus* and *R. neglectus* x *R. milesi*. In addition, oviposition and hatching rates were calculated. All crosses resulted in hybrids in at least one of the cross directions. In the face of anthropogenic changes, reorganizations in species distribution are taking place, which may increase the probability of encounters between allopatric species under natural conditions. Our results demonstrate that both allopatric and sympatric *Rhodnius* species produce hybrids, which may raise concerns for public health agencies. Thus, we demonstrate that Rhodniini species are able to produce hybrids under laboratory conditions. These results are of great epidemiological importance and raise an important discussion about the influence of climatic and environmental interactions on the dynamics of Chagas disease.

Key words: Triatomines; Hybrid; Experimental Crosses; Chagas diseases

Sumário

Resumo.....	09
Abstract.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivos gerais.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	16
3.1 Capítulo de livro.....	16
3.2 Artigo científico.....	30
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	49
5. REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

A influência do homem na integridade das espécies, com possibilidade de eventos de hibridação entre espécies isoladas, é conhecido desde a década de 1930 (WIEGAND, 1935). A princípio, as pesquisas sobre hibridação mediadas por ações humanas focaram, principalmente, no estudo das modificações físicas de habitat (KIMURA e MUNEHARA, 2010) ou na introdução (tanto intencional, como acidental) de espécies exóticas (RHYMER e SIMBERLOFF, 1996; WALTERS et al., 2008). No entanto, as atuais mudanças climáticas e ambientais antropogênicas estão resultando em modificação de habitat em larga escala que podem resultar em oportunidades cada vez maiores de hibridação (CHUNCO, 2014).

Atualmente, sabe-se que além de alterar os processos ecológicos [que vão desde o desacoplamento das interações entre espécies (VISSER e BOTH, 2005), até a reestruturação de ecossistemas inteiros (WILLIAMS e JACKSON, 2007)], as mudanças climáticas e ambientais terão consequências para os processos evolutivos, pois muitas espécies enfrentarão regimes modificados de seleção com os novos climas e, para evitar a extinção, deverão adaptar-se ou dispersar-se para ambientes mais favoráveis, o que influenciará diretamente na evolução de diversas espécies (CHUNCO, 2014).

Embora um esforço substancial de estudos tenham examinado as mudanças na estrutura das comunidades influenciadas pelas mudanças climáticas (KARDOL et al. 2010; YANG et al., 2011), poucas pesquisas tem analisado como as mudanças climáticas e ambientais afetam nas interações reprodutivas entre as espécies (GARROWAY et al., 2010; WELLENREUTHER et al., 2010; CHUNCO, 2014). Chunco (2014) ressalta que como essas mudanças estão reorganizando as assembleias de espécies e estão derrubando as barreiras reprodutivas físicas, temporais e comportamentais, as mudanças climáticas e ambientais provocadas pelo homem, provavelmente, influenciarão drasticamente no aumento da probabilidade de hibridação para as comunidades futuras, resultando potencialmente em eventos de introgressão, especiação ou, até mesmo, extinção.

Embora o conceito biológico de espécie apresentado por Mayr et al. (1963) e Dobzhansky (1935) prediz que “espécies são grupos de populações naturais que se inter cruzam real ou potencialmente e que são isoladas reprodutivamente de outros grupos (produzindo qualquer incompatibilidade de pais, ou esterilidade dos híbridos, ou ambos)”, são inúmeros os casos de ocorrência de híbridos na literatura (CHUNCO, 2014). Para os insetos vetores da doença de Chagas, por exemplo, diversos eventos de hibridação natural e/ou experimental foram observados (MAZZOTTI e OSÓRIO, 1941, 1942; USINGER, 1944, 1966; ABALOS, 1948; RYCKMAN, 1962; CORRÊA e ESPÍNOLA, 1964; UESHIMA, 1966; ESPÍNOLA, 1971; CARVALHEIRO e BARRETTO, 1976; FRANCA-RODRÍGUEZ et al., 1979; GALÍNDEZ et al., 1994, PÉREZ et al 2005; SCHEREIBER et al., 1974; CERQUEIRA, 1982; HEITZMANN-FONTENELLE, 1984; COSTA et al., 2003, 2009; MARTÍNEZ-IBARRA et al., 2005, 2008, 2011, 2016a,b; CORREIA et al., 2013; DÍAZ et al., 2014; MENDONÇA et al., 2014, 2016; CAMPOS-SOTO et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2019; ALEVI et al., 2020; NEVES et al., 2020; CESARETTO et al., 2021; DELGADO et al., 2021; MADEIRA et al., 2021; PINOTTI et al., 2021a,b; RAVAZI et al., 2021, 2022).

Os triatomíneos (Hemiptera, Triatominae) são insetos hematófagos de grande importância epidemiológica, pois são considerados como a principal forma de transmissão do protozoário *Trypanosoma cruzi* (Chagas, 1909) (Kinetoplastida, Trypanosomatidae), agente etiológico da doença de Chagas (WHO, 2022). Essa doença é negligenciada, não tem cura na fase crônica, atinge cerca de oito milhões de pessoas e coloca em risco de infecção, aproximadamente, outras 25 milhões, sendo o tratamento com os anti-tripanosomatídeos (Benznidazol e Nifurtimox) efetivos apenas na fase aguda da doença (WHO, 2022). Dessa forma, o controle das populações de vetores é considerado como a principal forma de minimizar a incidência de novos casos chagásicos (WHO, 2022), sendo os estudos relacionados com os triatomíneos de extrema importância para a saúde pública, uma vez que podem gerar subsídios para auxiliar os programas de controle de vetores na profilaxia da doença de Chagas.

Atualmente, existem 157 espécies descritas na subfamília Triatominae (sendo 154 espécies vivas e três espécies fósseis), agrupadas em 18 gêneros e cinco tribos (ALEVI et al., 2021; CORREIA et al., 2022; GIL-SANTANA et al., 2022). A tribo Rhodniini é composta por 24 espécies, sendo 21 do gênero *Rhodnius* Stål, 1859 e três do gênero *Psammolestes* Bergroth, 1911 (ALEVI et al., 2021; ZHAO et al., 2021). Cruzamentos experimentais realizados, até o momento, demonstram que: i. *Rhodnius* e *Psammolestes* estão isolados reprodutivamente (o que confirma o status específico de *Psammolestes*) (RAVAZI et al., 2022) (Tabela 1); ii. possivelmente, não existem barreiras reprodutivas pré-zigóticas interespecífica para *Rhodnius* spp. e *Psammolestes* spp. (CARVALHEIRO e BARRETTO, 1976; GALÍNDEZ et al., 1994; DÍAZ et al., 2014; RAVAZI, 2019; RAVAZI et al., 2021) (Tabela 1). Além disso, híbridos naturais já foram relatados para o gênero *Rhodnius* (DIAS et al., 2014).

Tabela 1. Cruzamentos experimentais realizados tribo Rhodniini. F1: híbrido de primeira geração; F2: híbrido de segunda geração; N3: ninfa de terceiro instar; ♂: macho; ♀: fêmea.

Cruzamentos					Resultados
	<i>Rhodnius prolixus</i>	x	<i>Rhodnius neglectus</i>		F1
	<i>Rhodnius prolixus</i>	x	<i>Rodnius robustus</i>		F2
	<i>Rhodnius prolixus</i>	x	<i>Rhodnius pictipes</i>		F1 (N3)
♂	<i>Rhodnius pallescens</i>	x	<i>Rhodnius colombiensis</i>	♀	F1
♂	<i>Rhodnius colombiensis</i>	x	<i>Rhodnius pallescens</i>	♀	inviável
♂	<i>Rodnius montenegrensis</i>	x	<i>Rodnius robustus</i>	♀	F3
♂	<i>Rodnius robustus</i>	x	<i>Rodnius montenegrensis</i>	♀	F3
♂	<i>Rodnius prolixus</i>	x	<i>Rodnius nasutus</i>	♀	F2
♂	<i>Rodnius nasutus</i>	x	<i>Rodnius prolixus</i>	♀	F2
♂	<i>Rhodnius neglectus</i>	x	<i>Psammolestes coreodes</i>	♀	inviável
♂	<i>Psammolestes coreodes</i>	x	<i>Rhodnius neglectus</i>	♀	inviável
♂	<i>Rhodnius neglectus</i>	x	<i>Psammolestes tertius</i>	♀	inviável
♂	<i>Psammolestes tertius</i>	x	<i>Rhodnius neglectus</i>	♀	inviável
♂	<i>Psammolestes tertius</i>	x	<i>Psammolestes coreodes</i>	♀	F1
♂	<i>Psammolestes coreodes</i>	x	<i>Psammolestes tertius</i>	♀	F1

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Tendo em vista as questões relacionadas à influência das mudanças antrópicas (mudanças climáticas e ambientais) na dinâmica de distribuição e interação reprodutiva das espécies e considerando que o conhecimento sobre os vetores da doença de Chagas da tribo Rhodniini ainda é incipiente, realizamos cruzamentos experimentais entre espécies desta tribo, a fim de avaliar as interações reprodutivas interespecíficas e a capacidade de produção de híbridos.

2.2 Objetivos específicos

- a)** Avaliar a dinâmica evolutiva dos cruzamentos experimentais, por meio da análise da cópula interespecífica, da oviposição, da taxa de eclosão dos ovos e da viabilidade dos híbridos;
- b)** Depositar os híbridos experimentais em coleções entomológicas, com o intuito de evitar futuras descrições de novas espécies a partir da coleta de possíveis híbridos naturais;
- c)** Produzir mapas de distribuição para as espécies cruzadas;
- d)** Organizar as informações da literatura e redigir uma mini-revisão sobre a tribo Rhodniini.

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO (apresentados na forma de capítulo de livro e artigo científico)

3.1 Capítulo publicado no livro “Atualidades em Medicina Tropical no Brasil: Vetores”

RAVAZI A, OLIVEIRA J, ALEVI KCC, 2020. **Taxonomia e sistemática da tribo Rhodniini (Hemiptera, Triatominae): uma mini-revisão.** OLIVEIRA J, ALEVI KCC, CAMARGO LMA, MENEGUETTI DUO, eds. *Atualidades em Medicina Tropical no Brasil: Vetores*. Rio Branco, Brazil: Stricto Sensu Editora, p. 38–48. DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283129.02.

ATUALIDADES EM MEDICINA TROPICAL NO BRASIL:

VETORES

ISBN:978-65-86283-12-9

Organizadores

Jader de Oliveira
Kaio Cesar Chaboli Alevi
Luís Marcelo Aranha Camargo
Dionatas Ulises de Oliveira Meneguetti

2020



Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A886

Atualidades em medicina tropical no Brasil : vetores / Jader de Oliveira ... [et al.] (org.). – Rio Branco : Stricto Sensu, 2020.

262 p.: il.

ISBN: 978-65-86283-12-9

DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283129

1. Saúde. 2. Medicina tropical. 3. Vetores. I. Oliveira, Jader de. II. Alevi, Kaio Cesar Chaboli. III. Camargo, Luis Marcelo Aranha. IV. Meneguetti, Dionatas Ulises de Oliveira. V. Título.

CDD 22. ed. 614.539181

Bibliotecária Responsável: Tábata Nunes Tavares Bonin / CRB 11-935

O conteúdo dos capítulos do presente livro, correções e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

É permitido o download deste livro e o compartilhamento do mesmo, desde que sejam atribuídos créditos aos autores e a editora, não sendo permitido à alteração em nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.sseditora.com.br

TAXONOMIA E SISTEMÁTICA DA TRIBO RHODNIINI (HEMIPTERA, TRIATOMINAE): UMA MINI-REVISÃO

Amanda Ravazi¹, Jader de Oliveira², Kaio Cesar Chaboli Alevi^{1,2}

1. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Biociências de Botucatu, Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250, Distrito de Rubião Júnior, 18618-689, Botucatu, SP, Brasil;
2. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Rodovia Araraquara-Jaú km 1, 14801-902, Araraquara, SP, Brasil.

RESUMO

Os triatomíneos são insetos hematófagos de grande importância para a saúde pública, pois são considerados como a principal forma de transmissão do protozoário *Trypanosoma cruzi*, agente etiológico da doença de Chagas. Atualmente, essa subfamília é composta por 151 espécies vivas e três fósseis, agrupadas em 19 gêneros e cinco tribos. A tribo Rhodniini apresenta 23 espécies pertencentes ao gênero *Rhodnius* e três ao gênero *Psammolestes*. Embora esses gêneros compartilhem um ancestral comum (o que caracteriza a tribo Rhodniini como um grupo monofilético), existem diversos problemas taxonômicos e sistemáticos associados com esses vetores (sinonímia de espécies, *nomen nudum*, sugestão de alteração genérica de *Psammolestes* e parafiletismo de *Rhodnius*). Com base no exposto, o presente capítulo apresenta uma mini-revisão dos aspectos taxonômicos e sistemáticos desses vetores, sugerindo a necessidade da taxonomia integrativa para avaliar o *status* específico das espécies de *Rhodnius*, bem como para auxiliar na descrição de novos táxons e ressalta a importância de novos estudos sistemáticos (com foco na sistemática filogenética) para entender a relação evolutiva entre as espécies da tribo Rhodniini, com ênfase na relação entre *Psammolestes* e *Rhodnius* e, sobretudo, no parafiletismo de *Rhodnius*.

Palavras-chave: *Rhodnius*, *Psammolestes* e Taxonomia integrativa.

ABSTRACT

Triatomines are hematophagous insects of great importance for public health, as they are considered as the main form of transmission of the protozoan *Trypanosoma cruzi*, the etiological agent of Chagas disease. Currently, this subfamily consists of 151 living species and three fossils, grouped into 19 genera and five tribes. The Rhodniini tribe has 23 species belonging to the genus *Rhodnius* and three to the genus *Psammolestes*. Although these genera share a common ancestor (which characterizes the Rhodniini tribe as a monophyletic group), there are several taxonomic and systematic problems associated with these vectors (synonym of species, *nomen nudum*, suggestion of a generic alteration of *Psammolestes* and *Rhodnius* paraphyly). Based on the above, this chapter presents a mini-review of the taxonomic and systematic aspects of these vectors, suggesting the need for

integrative taxonomy to assess the specific status of *Rhodnius* species, as well as to assist in the description of new taxa and emphasizes the importance of new systematic studies (focusing on the phenogenetic system) to understand the evolutionary relationship between the species of the Rhodniini tribe, with emphasis on the relationship between *Psammolestes* and *Rhodnius* and, above all, in the *Rhodnius* paraphyly.

Keywords: *Rhodnius*, *Psammolestes* and integrative taxonomy.

1. INTRODUÇÃO

Os triatomíneos são insetos hematófagos de grande importância para a saúde pública, pois são considerados como a principal forma de transmissão do protozoário *Trypanosoma cruzi* (Chagas, 1909) (Kinetoplastida, Trypanosomatidae), agente etiológico da doença de Chagas (WHO, 2020). Essa enfermidade negligenciada afeta, atualmente, cerca de oito milhões de pessoas, ocasionando, aproximadamente, 50 mil mortes por ano (LIDIANI et al., 2019; WHO, 2020) por complicações associadas à cardiomiopatia, arritmias, megavisceras e, mais raramente, polineuropatia e acidente vascular cerebral (PEREZ-MOLINA; MOLINA, 2018).

Os triatomíneos pertencem à ordem Hemiptera, subordem Heteroptera, família Reduviidae e subfamília Triatominae (GALVÃO, 2014). Atualmente, essa subfamília é composta por 151 espécies vivas e três fósseis, agrupadas em 19 gêneros e cinco tribos (Alberproseniini Martínez & Carcavallo, 1977, Bolboderini Usinger, 1944, Cavernicolini Usinger, 1944, Triatomini Jeannel, 1919 e Rhodniini Pinto, 1926) (GALVÃO, 2014; OLIVEIRA et al., 2018a; DORN et al., 2018; LIMA-CORDÓN et al., 2019; POINAR, 2019), sendo todas consideradas como potenciais vetoras da doença de Chagas.

A partir das diversas problemáticas envolvidas com a correta identificação dos triatomíneos agrupados na tribo Rhodniini (MONTEIRO et al., 2000, 2003, 2018; ABAD-FRANCH et al., 2013; BRITO et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2019; HERNÁNDEZ et al., 2020), o presente capítulo apresenta uma mini-revisão dos aspectos taxonômicos e sistemáticos desses vetores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A tribo Rhodniini é composta por 23 espécies pertencentes ao gênero *Rhodnius* Stål, 1859 e três ao gênero *Psammolestes* Bergroth, 1911 (Tabela 1). Embora esses gêneros compartilhem um ancestral comum (o que caracteriza a tribo Rhodniini como um grupo

monofilético) (JUSTI et al., 2014, 2016), existem dois fenótipos distintos, a saber, *Rhodnius* com pernas longas e finas e uma cabeça longa, que vivem, principalmente, em palmeiras; e *Psammolestes* com cabeça curta, pernas fortes, fêmur largo e rostro considerado como o mais largo de toda a subfamília Triatominae, que vivem associados a ninhos de pássaros das famílias Dendrocolaptidae, Troglodytidae, Furnariidae e Icteridae (PINTO; LENT, 1935; PIFANO, 1938; BARRETO; ALBUQUERQUE, 1969; SHERLOCK; GUITTON, 1974; GALVÃO et al., 2003; CRUZ-GUZMÁN et al., 2014).

Tabela 1. Espécies agrupadas na tribo Rhodniini

Tribo	Gênero	Espécies
Rhodniini Pinto, 1926	<i>Psammolestes</i> Bergroth, 1911	<i>P. arthuri</i> (Pinto, 1926)
		<i>P. coreodes</i> Bergroth, 1911
		<i>P. tertius</i> Lent & Jurberg, 1965
	<i>Rhodnius</i> Stål, 1859	<i>R. amazonicus</i> Almeida, Santos & Sposina, 1973
		<i>R. barretti</i> Abad-Franch et al., 2013
		<i>R. brethesi</i> Matta, 1919
		<i>R. colombiensis</i> Mejia, Galvão & Jurberg, 1999
		<i>R. dalessandroi</i> Carcavallo & Barreto, 1976
		<i>R. domesticus</i> Neiva & Pinto, 1923
		<i>R. ecuadoriensis</i> Lent & León, 1958
		<i>R. marabaensis</i> Souza et al., 2016
		<i>R. milesi</i> Carcavallo et al., 2001
		<i>R. montenegrensis</i> Rosa et al., 2012
		<i>R. nasutus</i> Stål, 1859
		<i>R. neglectus</i> Lent, 1954
		<i>R. neivai</i> Lent, 1953
		<i>R. pallescens</i> Barber, 1932
		<i>R. paraensis</i> Sherlock, Guitton & Miles, 1977
		<i>R. pictipes</i> Stål, 1872
		<i>R. prolixus</i> Stål, 1859
		<i>R. robustus</i> Larrousse, 1927
		<i>R. stali</i> Lent, Jurberg & Galvão, 1993
		<i>R. zeledoni</i> Jurberg et al., 2009

Tabela 2. Agrupamentos de *Rhodnius* spp.

<i>Rhodnius</i>		
Grupo <i>Pallescens</i>	Grupo <i>Prolixus</i>	Grupo <i>Pictipes</i>
<i>R. colombiensis</i>	<i>R. barreti</i>	<i>R. amazonicus</i>
<i>R. ecuadoriensis</i>	<i>R. dalessandroi</i>	<i>R. brethesi</i>
<i>R. pallescens</i>	<i>R. domesticus</i>	<i>R. paraensis</i>
	<i>R. milesi</i>	<i>R. pictipes</i>
	<i>R. marabaensis</i>	<i>R. stali</i>
	<i>R. montenegrensis</i>	<i>R. zeledoni</i>
	<i>R. nasutus</i>	
	<i>R. neglectus</i>	
	<i>R. neivai</i>	
	<i>R. prolixus</i>	
	<i>R. robustus</i>	

As espécies do gênero *Psammolestes* foram, inicialmente, agrupadas em uma única tribo denominada *Psammolestini* por apresentarem distinções morfológicas quando comparadas a *Rhodnius* (CARCAVALLO, 1976; HERNANDEZ et al., 2020). No entanto, em 1979 Lent; Wygodzinsky (1979) consideraram essa tribo como *nomen nudum* e, com base em alguns caracteres morfológicos (presença de tuberosidades posteriores aos olhos) e ecológicos (em geral, hábitos arbóreos), ambos foram agrupados na tribo *Rhodniini* (LENT; WYGODZINSKY, 1979; DUJARDIN et al, 2002; JUSTI; GALVÃO, 2017), sendo que, em 2002, foi sugerido à mudança do *status* genérico das três espécies de *Psammolestes* para o gênero *Rhodnius* a partir de análises filogenéticas (HYPSA et al., 2002), proposta não aceita pela comunidade científica (GALVÃO et al., 2003).

Com base na distribuição geográfica, biogeográfica, morfológica e filogenética, os membros do gênero *Rhodnius* são agrupados em três grandes grupos: *pallescens* (considerado como transandino, distribuído no oeste da cordilheira dos Andes), *pictipes* e *prolixus* (considerados como cisandinos, distribuídos no leste do Andes e Amazônia) (JUSTI; GALVÃO, 2017) (Tabela 2).

Enquanto *Psammolestes* é um gênero monofilético (MONTEIRO et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2018b), *Rhodnius* é considerado como parafilético (MONTEIRO et al., 2000; JUSTI et al., 2014), uma vez que as espécies do grupo *prolixus* são evolutivamente mais próximas do gênero *Psammolestes* do que dos outros grupos de *Rhodnius* (JUSTI et al., 2014, 2016). As espécies do gênero *Rhodnius* apresentam uma taxonomia complexa,

pois embora inicialmente a diferenciação dos táxons fosse baseada em distinções e similaridades morfológica (LENT; WYGODZINSKY, 1979; HERNÁNDEZ et al., 2020), os eventos de plasticidade fenotípica e especiação críptica dificultam a correta classificação desses vetores (ABAD-FRANCH et al., 2013).

Em 2013, Abad-Franch e colaboradores ressaltam que esses eventos evolutivos podem levar a erros taxonômicos, sugerindo que *R. milesi* Carcavallo et al., 2001 provavelmente seja uma variação de *R. neglectus* Lent, 1954, que *R. zeledoni* Jurberg et al., 2009 seja *R. domesticus* Neiva & Pinto, 1923 (por apresentarem muitas semelhanças) e que *R. montenegrensis* Rosa et al. (2012) represente uma das linhagens de *R. robustus* Larrousse, 1927 (linhagem II) (MONTEIRO et al., 2003). No entanto, a sinonímia das espécies em discussão não foi realizada pelos autores e os diversos testes interespecíficos realizados entre *R. montenegrensis* e *R. robustus* de linhagem II confirmaram a relação entre elas, porém não inviabilizaram o status específico de *R. montenegrensis* (CARVALHO et al., 2017; BRITO et al., 2019), uma vez que *R. robustus* é um grupo parafilético (Tabela 3) (MONTEIRO et al., 2003, 2018; ROSA et al., 2012; SOUZA et al., 2016; CASTRO et al., 2020).

Tabela 3. Linhagens parafiléticas de *R. robustus* e as possíveis espécies equivalentes.

<i>R. robustus</i>	
Linhagens	Táxons equivalentes
<i>R. robustus</i> de linhagem I	-
<i>R. robustus</i> de linhagem II	<i>R. montenegrensis</i>
<i>R. robustus</i> de linhagem III	<i>R. marabaensis</i>
<i>R. robustus</i> de linhagem IV	-

Diante da problemática taxonômica de *Rhodnius*, a taxonomia integrativa mostra-se como uma importante ferramenta para a correta classificação das espécies. As descrições de *R. montenegrensis* e *R. marabaensis*, que combinam diferentes análises, são exemplos da aplicação dessa vertente taxonômica (ROSA et al., 2012; SOUZA et al., 2016). No entanto, a taxonomia integrativa pode resultar em descrições equivocadas de novos táxons: *R. taquarussuensis* Rosa et al. 2017, descrito com base em dados morfológicos, morfométricos e citogenéticos (ROSA et al., 2017), foi recentemente sinonimizado com *R. neglectus* por análises moleculares (NASCIMENTO et al., 2019) – demonstrando que as

diferenças observadas representavam apenas variação intraespecífica –. Outros casos de sinonímia e *nomen nudum* já foram relatados para o gênero *Rhodnius* (Tabela 4) (GALVÃO et al., 2003).

Tabela 4. Sinonímias realizadas no gênero *Rhodnius* e *Psammolestes*

Espécie	Sinonímia/nomen nudum
<i>R. brumpti</i> Pinto, 1925	<i>R. nasutus</i> Stål, 1859
<i>R. dunni</i> Pinto, 1932	<i>R. pallescens</i> Barber, 1932
<i>R. jacundaensis</i> Serra, Serra & Von Atzingen, 1980	<i>R. marabaensis</i> Souza et al., 2016
<i>Conorhinus limosus</i> Walker, 1873	<i>R. pictipes</i> Stål, 1872 e <i>R. prolixus</i> Stål, 1859
<i>Eutriatoma arthuri</i> (Pinto, 1926)	<i>P. arthuri</i> (Pinto, 1926)
<i>Psammolestes salazari</i> Aldana, Lizano, Ramon, Valderrama 1996	<i>P. arthuri</i> (Pinto, 1926)

Entre as diferentes ferramentas que podem integrar a taxonomia integrativa, a realização de cruzamentos experimentais e análise das barreiras reprodutivas interespecíficas pré e pós-zigóticas mostram-se de grande importância para avaliar o *status* específico dos táxons (com base no conceito biológico de espécies) (MAYR, 1963; DOBZHANSKY, 1970). São poucos os testes de cruzamentos realizados para a tribo Rhodniini (CARVALHEIRO; BARRETTO, 1976; GALÍNDEZ et al., 1994; DÍAZ et al., 2014) e, esses, sinalizam que, possivelmente, não existem barreiras reprodutivas pré-zigóticas interespecífica para *Rhodnius* spp. (CARVALHEIRO; BARRETTO, 1976; GALÍNDEZ et al., 1994; DÍAZ et al., 2014). Por outro lado, a análise dos híbridos resultantes do cruzamento entre *R. pallescens* Barber, 1932 machos e *R. colombiensis* Mejia, Galvão & Jurberg, 1999 fêmeas, por exemplo, demonstrou erros de pareamento entre cromossomos homeólogos que resultaram em gametas inviáveis, caracterizando, assim, a barreira pós-zigótica de esterilidade do híbrido e, conseqüentemente, corroborando o *status* específico das espécies parentais (DÍAZ et al., 2014).

A citotaxonomia, espermiotaxonomia e cariossistemática, apesar de muito usual e efetiva para a diferenciação dos táxons (UESHIMA, 1966; ALEVI et al., 2013, 2014, 2017, 2020), não permite a diferenciação das espécies da tribo Rhodniini (ALEVI et al., 2015; RAVAZI et al., 2016, 2017; OLIVEIRA et al., 2017), pois esse grupo monofilético (JUSTI et al., 2014, 2016) apresenta homogeneidade cariotípica, cromossômica, bem como no padrão heteropicnótico das espermátides (RAVAZI et al., 2016; ALEVI et al., 2018).

Contudo, casos pontuais de polimorfismo cromossômico intraespecífico foram relatados para espécies de *Rhodnius*, a saber, *R. pallescens* e *R. neglectus* com variação intraespecífica no padrão de heterocromatina constitutiva (GÓMEZ-PALACIO et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2019) e *R. ecuadoriensis* com variação na localização das Regiões Organizadoras Nucleolares (PITA et al., 2013).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto, fica evidente que a taxonomia de *Rhodnius* deve ser realizada de forma integrativa, combinando técnicas clássicas (como morfologia e morfometria), com análises genéticas, filogenéticas e de cruzamentos experimentais para avaliar o *status* específico das espécies de *Rhodnius* e, principalmente, para auxiliar na descrição de novos táxons. Além disso, ressalta-se a importância de novos estudos sistemáticos (com foco na sistemática filogenética) para entender a relação evolutiva entre as espécies da tribo Rhodniini, com ênfase na relação entre *Psammolestes* e *Rhodnius* e, sobretudo, no parafiletismo de *Rhodnius*.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Doutorado concedida (processo nº 140749/2019-5).

5. REFERÊNCIAS

- ABAD-FRANCH, F.; PAVAN, M.G.; JARAMILLO, N.; PALOMEQUE, F.S.; DALE, C.; CHAVERRA, D.; MONTEIRO, F.A. *Rhodnius barretti*, a new species of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) from western Amazonia. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v.108, p. 92-99, 2013.
- ALEVI, K.C.C.; MENDONÇA, P.P.; PEREIRA, N.P.; FERNANDES, A.L.V.Z.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V. Analysis of spermiogenesis like a tool in the study of the triatomines of the Brasiliensis subcomplex. **C. R. Biol**, v. 336, p. 46-50, 2013.

ALEVI, K.C.C.; MENDONÇA, P.P.; PEREIRA, N.P.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V. Heteropyknotic filament in spermatids of *Triatoma melanocephala* and *T. vitticeps* (Hemiptera, Triatominae). **Invertebr. Reprod. Dev.**, v. 58, p. 1-4, 2014.

ALEVI, K.C.C.; RAVAZI, A.; MENDONÇA, V.J.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V. Karyotype of *Rhodnius montenegrensis* (Hemiptera, Triatominae). **Gen. Mol. Res.**, v. 14, p. 222-226, 2015.

ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A. *Triatoma vitticeps* subcomplex (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae): a new grouping of Chagas disease vectors from South America. **Paras. Vect.**, v. 10, p. 180, 2017.

ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V. Karyotype Evolution of Chagas Disease Vectors (Hemiptera, Triatominae). **Am. J. Trop. Med. Hyg.**, v. 99, p. 87-89, 2018.

ALEVI, K.C.C.; BITTINELLI, I.F.; DELGADO, L.M.G.; MADEIRA, F.F.; OLIVEIRA, J.; LILIOSO, M.; FOLLY-RAMOS, E.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V. Molecular cytotaxonomy of the *Triatoma brasiliensis* species subcomplex (Hemiptera, Triatominae). **Acta Trop.**, v. 201, p.105225, 2020.

BARRETTO, M.P.; ALBUQUERQUE, R.D.R. Estudos sobre reservatórios e vetores silvestres do *Trypanosoma cruzi*. XXXIII. Infecção experimental e natural do *Psammolestes tertius* Lent & Jurberg, 1965 pelo *T. cruzi*. **Rev. Inst. Med. Trop.**, v. 11, p. 165-168, 1969.

BRITO, R.N.; GERALDO, J.A.; MONTEIRO, F.A.; LAZAOSKI, C.; SOUZA, R.C.M.; ABAD-FRANCH, F. Transcriptome-based molecular systematics *Rhodnius montenegrensis* (Triatominae) and its position within the *Rhodnius prolixus*-*Rhodnius robustus* cryptic-species complex. **Paras. Vect.**, v. 12, p. 305, 2019.

CARCAVALLO, R. Aspects of the epidemiology of Chagas disease in Venezuela and Argentina. **Amer. Tryp. Res.**, V. 318, p. 347-358, 1976.

CARVALHEIRO, J.R.; BARRETTO, M.P. Estudos sobre reservatórios e vetores silvestres do *Trypanosoma cruzi*. LX – tentativas de cruzamento de *Rhodnius prolixus* Stal, 1859 com *Rhodnius neglectus* Lent, 1954 (Hemiptera, Reduviidae). **Rev. Soc. Bras. Med. Trop.**, v. 18, p. 17-23, 1976.

CARVALHO, D.B.; CONGRAINS, C.; CHAHAD-EHLERS, S.; PINOTTI, H.; BRITO, R.A.; ROSA, J.A. Differential transcriptome analysis supports *Rhodnius montenegrensis* and *Rhodnius robustus* (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) as distinct species. **PLoS ONE**, v. 12, p. e0174997, 2017.

CASTRO, R.J.C.; GOUBERT, C.; MONTEIRO, F.A.; VIEIRA, C.; CARARETO, C.M.A. Homology-Free Detection of Transposable Elements Unveils Their Dynamics in Three Ecologically Distinct *Rhodnius* Species. **Genes**, v. 11, p. 170, 2020.

CRUZ-GUZMÁN, P.J.; MOROCOIMA, A.; CHIQUÉ, J.D.; QUINTERO, J.R.; UZCÁTEGUI, M.T.; CARRASCO, H.J. *Psammolestes arthuri* naturalmente infectado con *Trypanosoma cruzi* encontrado en simpatria con *Rhodnius prolixus* y *Triatoma maculata* em nidos de aves em el estado Anzoátegui, Venezuela. **Saber**, v. 26, p. 428-440, 2014.

DÍAZ, S.; PANZERA, F.; JARAMILLO-O, N.; PÉREZ, R.; FERNÁNDEZ, R.; VALLEJO, G.; SALDAÑA, A.; CALZADA, J.E.; TRIANA, O.; GÓMEZ-PALÁCIO, A. Genetic, Cytogenetic

and Morphological Trends in the Evolution of the *Rhodnius* (Triatominae: Rhodniini) Trans-Andean Group. **PLoS ONE**, v. 9, p. e87493, 2014.

DOBZHANSKY, T. **Genetics of the Evolutionary Process**. Columbia University Press, New York, 1970.

DORN, P.L.; JUSTI, S.A.; DALE, C.; STEVENS, L.; GALVÃO, C.; CORDON, R.L.; MONROY, C. Description of *Triatoma mopan* sp. n. (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) from a cave in Belize. **Zookeys**, v. 775, p. 69-95, 2018.

DUJARDIN, J.; SCHOFIELD, C.; PANZERA, F. **Les vecteurs de la maladie de Chagas**. Brussels: Académie Royale des Sciences; Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, 2002.

GALÍNDEZ, G.I.; BARAZARTE, R.; MÁRQUEZ, J.; OVIEDO, M.; MÁRQUEZ, Y.; MORÓN, L.; CARCAVALLO, R.U. Relaciones reproductivas entre *Rhodnius prolixus* Stal y *Rhodnius robustus* Larrousse (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) bajo condiciones de laboratorio. **Entomol. Vect**, v. 1, p. 3-13, 1994.

GALVÃO, C. **Vetores da doença de Chagas no Brasil**. Sociedade Brasileira de Zoologia, Brasil, 2014.

GALVÃO, C.; CARCAVALLO, R.; ROCHA, D.S.; JUBERG, J. A checklist of the current valid species of the subfamily Triatominae Jeannel, 1919 (Hemiptera, Reduviidae) and their geographical distribution, with nomenclatural and taxonomic notes. **Zootaxa**, v. 202, p. 1-36, 2003.

GÓMEZ-PALACIO, A.; JARAMILLO-OCAMPO, N.; TRIANACHÁVEZ, O.; SALDANÑA, A.; CALZADA, J.; PÉREZ, R.; PANZERA, F. Chromosome variability in the Chagas disease vector *Rhodnius pallescens* (Hemiptera, Reduviidae, Rhodniini). **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v. 103, p.160-164, 2008.

HERNÁNDEZ, C.; ROSA, J.A.; VALLEJO, G.A.; GUHL, F.; RAMIREZ, J.D. Taxonomy, Evolution and Biogeography of the Rhodniini Tribe (Hemiptera: Reduviidae). **Diversity**, v. 2, p. 12-97, 2020.

HYPSA, V.; TIETZ, D.; ZRZAVY, J.; REGO, R.O.; GALVÃO, C.; JUBERG, J. Phylogeny and biogeography of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae): molecular evidence of a New World origin of the asiatic clade. **Mol. Phylog. Evol**, v. 23, p. 447-457, 2002.

JUSTI, S.A.; RUSSO, C.A.M.; MALLET, J.R.S.; OBARA, M.T.; GALVÃO, C. Molecular phylogeny of Triatomini (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). **Paras. Vect**, v. 7, p. 149, 2014.

JUSTI, S.A.; GALVÃO, C.; SCHRAGO, C.G. Geological changes of the Americas and their influence on the diversification of the Neotropical kissing bugs (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). **PLoS. Negl. Trop. Dis**, v. 10, p. e0004527. 2016.

JUSTI, S.A.; GALVÃO, C. The Evolutionary Origin of Diversity in Chagas Disease Vectors. **Trends Parasitol**, v. 33, p. 42–52, 2017.

LENT, H.; WYGODZYSKY, P. Revision of the Triatominae (Hemiptera – Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas' disease. **Bull. Am. Mus. Nat. Hist**, v. 163, p. 123-520, 1979.

LIDIANI, K.C.F.; ANDRADE, F.A.; BAVIA, L.; DAMASCENO, F.S.; BELTRAME, M.H.; MESSIAS-REASON, I.J.; SANDRI, T.L. Chagas Disease: From Discovery to a Worldwide Health Problem. **Front. Public Health**, v.7, p. 106, 2019.

LIMA-CORDÓN, R.A.; MONROY, M.C.; STEVENS, L.; RODAS, A.; RODAS G.A.; DORNI, P.L.; JUSTI, S.A. Description of *Triatoma huehuetenanguensis* sp. n., a potential Chagas disease vector (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). **Zookeys**, v. 820, p. 51-70, 2019.

MAYR, E. **Animal Species and Evolution**. Harvard University Press, Cambridge, 1963.

MONTEIRO, F.A.; WESSON, D.M.; DOTSON, E.M.; SCHOFIELD, C.J.; BEARD, C.B. Phylogeny and molecular taxonomy of the Rhodniini derived from mitochondrial and nuclear DNA sequences. **Am. J. Trop. Med. Hyg**, v. 62, p. 460-465, 2000.

MONTEIRO, F.A.; BARRETT, T.V.; FITZPATRICK, S.; CORDON-ROSALES, C.; FELICIANGELI, D.; BEARD, C.B. Molecular phylogeography of the Amazonian Chagas disease vectors *Rhodnius prolixus* and *R. robustus*. **Mol. Ecol**, v. 12, p. 997-1006, 2003.

MONTEIRO, F.A.; WEIRAUCH, C.; FELIX, M.; LAZOSKI, C.; ABAD-FRANCH, F. Evolution, Systematics, and Biogeography of the Triatominae, Vectors of Chagas Disease. **Adv. Parasitol**, v. 99, p. 265-344, 2018.

NASCIMENTO, J.D.; ROSA, J.A.; SALGADO-ROA, F.C.; HERNÁNDEZ, C.; PARDO-DIAZ, C.; ALEVI, K.C.C.; RAVAZI, A.; OLIVEIRA, J.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; SALAZAR, C.; RAMIREZ, J.D. Taxonomical over splitting in the *Rhodnius prolixus* (Insecta: Hemiptera: Reduviidae) clade: Are *R. taquarussuensis* (da Rosa et al., 2017) and *R. neglectus* (Lent, 1954) the same species? **Plos One**, v. 14, p.2, 2019.

OLIVEIRA, J.; ALEVI, K.C.C.; GALVÃO, C.; RAVAZI, A.; MOREIRA, F.F.F.; ROSA, J.A.; SOUZA, E.S. Study of the Salivary Glands in Triatominae (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae): Their Color and Application to the Chagas Disease Vector Evolution. **Am. J. Trop. Med. Hyg**, v. 97, p. 771-773, 2017.

OLIVEIRA, J.; AYALA, J.M.; JUSTI, S.A.; ROSA, J.A.; GALVÃO, C. Description of a new species of *Nesotriatoma* Usinger, 1944 from Cuba and revalidation of synonymy between *Nesotriatoma bruneri* (Usinger, 1944) and *N. flavida* (Neiva, 1911) (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). **J. Vec. Ecol**, v. 43, p. 148-157, 2018a.

OLIVEIRA, J.; ALEVI, K.C.C.; RAVAZI, A.; HERRERA, H.M.; SANTOS, F.M.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A. New evidence of the monophyletic relationship of the genus *Psammolestes* Bergroth, 1911 (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). **Am. J. Trop. Med. Hyg**, v. 99, p. 1485-1488, 2018b.

PEREZ-MOLINA, J.A.; MOLINA, I. Chagas disease. **The Lancet**, v. 391, p. 82-94, 2018.

PINTO, C.; LENT, H. Sobre as especies do genero *Psammolestes* Bergroth, 1911 (Hemiptera, Triatomidae). **Ann. Acad. Brasil. Sci**, v. 7, p. 333-337, 1935.

PIFANO, C. Anotaciones acerca de *Psammolestes arthuri* Pinto, 1926 (Hemiptera, Heteroptera: Triatominae), reduvdeo hematófago encontrado en nidos de cucarachero de monte (probablemente Dendrocolaptidae) en un sector del valle del Yaracuy. Su importancia como posible vector en la naturaleza del *Schizotripanum cruzi* Chagas, 1909. **Gac. Méd. Caracas**, v. 45, p. 241-245, 1938.

PITA, S.; PANZERA, F.; FERRANDIS, I.; GALVÃO, C.; GÓMEZ-PALACIO, A.; PANZERA, Y. Chromosomal divergence and evolutionary inferences in Rhodniini based on the chromosomal location of ribosomal genes. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v.108, p. 376-82, 2013.

POINAR, G. A primitive triatomine bug, *Paleotriatoma metaxytaxa* gen. et sp. nov. (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae), in mid-Cretaceous amber from northern Myanmar. **Cretac. Res.**, v. 93, p.90-97, 2019.

RAVAZI, A.; OLIVEIRA, J.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ALEVI, K.C.C. Spermiotaxonomy of the Rhodniini tribe (Hemiptera, Triatominae). *Gen. Mol. Res.*, v. 15, p. gmr7366, 2016.

RAVAZI, A.; ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J.; ROSA, J.A.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V. Cytogenetic analysis in different populations of *Rhodnius prolixus* and *R. nasutus* from different countries of South America. **Braz. J. Bio.**, v. 78, p. 183-185, 2017.

ROSA, J.A.; JUSTINO, H.H.G.; NASCIMENTO, J.D.; MENDONÇA, V.J.; ROCHA, C.S.; CARVALHO, D.B.; FALCONE, R.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J. A new species of *Rhodnius* from Brazil (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). **ZooKeys**, v. 625, p. 1-25, 2017.

ROSA, J.A.; ROCHA, C.S.; GARDIM, S.; PINTO, M.C.; MENDONÇA, V.J.; FERREIRA-FILHO, J.C.R.; CARVALHO, E.O.C.; CAMARGO, L.M.A.; OLIVEIRA, J.; NASCIMENTO, J.D.; CILENSE, M.; ALMEIDA, C.E. Description of *Rhodnius montenegrensis* n. sp. (Hemiptera, Reduviidae: Triatominae) from the state of Rondônia, Brazil. **Zootaxa**, v. 3478, p. 62-76, 2012.

SHERLOCK, I.A.; GUITTON, N. Fauna Triatominae do Estado da Bahia Brasil III: notas sobre ecótopos silvestres e o gênero *Psammolestes*. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v. 72, p. 91-101, 1974.

SOUZA, E.S.; ATZINGER, N.C.B.V.; FURTADO, M.B.; OLIVEIRA, J.; DAMIELI, J.N.; VENDRAMINI, D.P.; GARDIM, S.; ROSA, J.A. Description of *Rhodnius marabaensis* sp. N. (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) from Pará State, Brazil. **Zookeys**, v. 621, p. 45-62, 2016.

UESHIMA, N. Cytotaxonomy of the Triatominae (Reduviidae, Hemiptera). **Chromosoma**, v. 18, p. 97-122, 1966.

WHO. **World Health Organization**. Chagas Disease American Trypanosomiasis. Disponível em: <<http://www.who.int/chagas/en/>>. Acesso em: 08/04/2020, 2020.

3.2 Artigo científico aceito para publicação na revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* (FI 4,61)

RAVAZI, A.; OLIVEIRA, J.; MADEIRA, F.F.; NUNES, G.M.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; AZEVEDO, L.M.S.; GALVAO, C.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Climate and Environmental Changes and Their Potential Effects on the Dynamics of Chagas Disease: Hybridization in Rhodniini (Hemiptera, Triatominae). **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 2023, *in press*.



Communication

Climate and Environmental Changes and Their Potential Effects on the Dynamics of Chagas Disease: Hybridization in *Rhodniini* (Hemiptera, Triatominae)

Amanda Ravazi ^{1,†}, Jader de Oliveira ^{2,†}, Fernanda Fernandez Madeira ³, Giovana Menezes Nunes ³, Yago Visinho dos Reis ¹, Ana Beatriz Bortolozo de Oliveira ³, Luísa Martins Sensato Azevedo ³, Cleber Galvão ^{4,*}, Maria Tercília Vilela de Azeredo-Oliveira ³, João Aristeu da Rosa ⁵ and Kaio Cesar Chaboli Alevi ^{1,2,4}

¹ Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rua Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250, Distrito de Rubião Junior, Botucatu 18618-689, SP, Brazil; aman-daravazi95@gmail.com (A.R.); yagoreis@outlook.com.br (Y.V.d.R.); kaiochaboli@hotmail.com (K.C.C.A.)

² Laboratório de Entomologia em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo (USP), Av. Dr. Arnaldo 715, São Paulo 01246-904, SP, Brazil; jdr.oliveira@hotmail.com

³ Laboratório de Biologia Celular, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rua Cristóvão Colombo 2265, São José do Rio Preto 15054-000, SP, Brazil; fernanda.bio56@hotmail.com (F.F.M.); giovanamn@gmail.com (G.M.N.); anabbortolozo@gmail.com (A.B.B.d.O.); luísa.sensato@unesp.br (L.M.S.A.); tercia.vilela@unesp.br (M.T.V.d.A.-O.)

⁴ Laboratório Nacional e Internacional de Referência em Taxonomia de Triatomíneos, Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Av. Brazil 4365, Pavilhão Rocha Lima, Sala 505, Rio de Janeiro 21040-360, RJ, Brazil

⁵ Laboratório de Parasitologia, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rodovia Araraquara-Jaú km 1, Araraquara 14801-902, SP, Brazil; joaoaristeu@gmail.com

* Correspondence: clebergalvao@gmail.com

† Co-first authorship.

Citation: Ravazi, A.; Oliveira, J.; Madeira, F.F.; Nunes, G.M.; Reis, Y.V.; Oliveira, A.B.B.; Azevedo, L.M.S.; Galvão, C.; Azeredo-Oliveira, M.T.V.; Rosa, J.A.; et al. Climate and Environmental Changes and Their Potential Effects on the Dynamics of Chagas Disease: Hybridization in *Rhodniini* (Hemiptera, Triatominae). *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editors: Aline Viancelli and William Michelon

Received: 19 January 2023

Revised: 24 February 2023

Accepted: 1 March 2023

Published: date



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Chagas disease affects about eight million people. In view of the issues related to the influence of anthropogenic changes in the dynamics of the distribution and reproductive interaction of triatomines, we performed experimental crosses between species of the *Rhodniini* tribe in order to evaluate interspecific reproductive interactions and hybrid production capacity. Reciprocal crossing experiments were conducted among *Rhodnius brethesi* × *R. pictipes*, *R. colombiensis* × *R. ecuadoriensis*, *R. neivai* × *R. prolixus*, *R. robustus* × *R. prolixus*, *R. montenegrensis* × *R. marabaensis*; *R. montenegrensis* × *R. robustus*, *R. prolixus* × *R. nasutus* and *R. neglectus* × *R. milesi*. With the exception of crosses between *R. pictipes* ♀ × *R. brethesi* ♂, *R. ecuadoriensis* ♀ × *R. colombiensis* ♂ and *R. prolixus* ♀ × *R. neivai* ♂, all experimental crosses resulted in hybrids. Our results demonstrate that both allopatric and sympatric species produce hybrids, which can generate concern for public health agencies in the face of current anthropogenic events. Thus, we demonstrate that species of the *Rhodniini* tribe are capable of producing hybrids under laboratory conditions. These results are of great epidemiological importance and raise an important discussion about the influence of climatic and environmental interactions on Chagas disease dynamics.

Keywords: Chagas disease vectors; *Rhodnius*; *Psammolestes*; experimental crosses

1. Introduction

Neglected tropical diseases (NTDs) are a diverse group of diseases prevalent in tropical and subtropical regions of 149 countries, and they affect more than one billion

people living in poverty worldwide [1]. Currently, there are at least twenty pathologies considered as NTDs that can be caused by viruses (dengue, chikungunya and rabies), bacteria (Buruli ulcer, leprosy, trachoma and endemic treponematoses), parasites [Chagas disease (CD), dracunculiasis, schistosomiasis, foodborne trematodes, sleeping sickness, leishmaniasis, lymphatic filariasis, onchocerciasis, helminthiasis and taeniasis/cysticercosis], fungi (mycetoma, chromoblastomycosis and other deep mycoses), ectoparasites (scabies) and even snakebite envenomation [1].

It is estimated that NTDs kill more than 350,000 people a year [2]. In addition, they can cause disability, disfigurement, child growth impairments and impairments in human cognitive development [2–5]. Although in recent years, public health agencies have invested resources to mitigate various NTDs [6], these diseases still collectively contribute to lost productivity [7], causing harm and suffering in many countries, including several in the G20 [8].

Among the different issues that can make it difficult to control NTDs, climate and environmental changes deserve attention as they can directly influence the emergence and/or reemergence of multiple NTDs, principally those involving a vector or intermediate host for transmission (such as arboviruses, CD, schistosomiasis, sleeping sickness, leishmaniasis, lymphatic filariasis and onchocerciasis) [9,10]. Furthermore, it is considered that anthropogenic alterations can even affect – in the short (seasonal), medium (annual) and/or long (decadal) term [11] – the distribution of NTDs [10], causing changes in its transmission period and geographic expansion, since, probably, the parasites, vectors and/or hosts will be able to invade new regions and reach new human populations not yet affected by NTDs [10,11].

Climate and environmental changes can directly influence the biotic and abiotic factors involved in vector development and distribution cycles (influencing even the altitudinal and latitudinal distribution of species) [11]. Among them, temperature, for example, influences life span, reproductive aspects and feeding rates, and precipitation influences the availability of suitable habitats for reproduction [11].

Among vector-borne DTNs, CD is a disease that affects about eight million people [12,13], and it can be influenced by climate and environmental changes because factors such as increased area of dispersion of triatomines, availability of habitat, and increased mobility of vectors from the wild environment to human constructions (probably attracted to electric light [14] and encroachment into nature by humans [15–18]), which can result in high rates of infection by *Trypanosoma cruzi* (Chagas, 1909) (Kinetoplastida, Trypanosomatidae), the etiological agent of CD.

Several studies show that climate change is influencing the geographic distribution of insect vectors [19–21] and, consequently, the dynamics of vector-borne diseases [22–24]. Projections for the coming decades predict changes in the geographic distribution of triatomines and in the vectorial transmission dynamics of *T. cruzi* (Table 1) [25–34]. As a result of climate and environmental changes (such as deforestation, fires and land use), some authors consider that there may be an overlap in the distribution of triatomine species (Hemiptera, Triatominae)—the main form of transmission of *T. cruzi* [13,35]—and this may even result in the adaptation of wild species in urban and domestic environments [25,29,36].

Table 1. Potential impact of climate change on the geographical distribution of triatomines and in the vectorial transmission dynamics of *T. cruzi*.

Species	Study Area	Projection Periods	Key Findings	Reference
<i>Triatoma sanguisuga</i> , <i>T. barberi</i> , <i>T. peninsularis</i> , <i>T. protracta</i> , <i>T. rubida</i> , <i>T. brailovskyi</i> , <i>T. gerstaeckeri</i> , <i>T. longipennis</i> , <i>T. mazzottii</i> , <i>T. mexicana</i> , <i>T. pallidipennis</i> , <i>T. phyllosoma</i> , <i>T. picturata</i> , <i>T. recurva</i> , <i>T. dimidiata</i> , <i>Eratyrus cuspidatus</i> , <i>Paratriatoma hirsuta</i> and <i>P. lecticularia</i>	North America	2050 2070	1. Significant alterations in risk of vector-borne <i>T. cruzi</i> transmission; 2. Impacts of climate change on <i>T. cruzi</i> vector species and their geographical locations; 3. Need for effective vector surveillance to aid in CD prevention and control.	[28]
<i>T. gerstaeckeri</i> and <i>T. sanguisuga</i>	North America	2050	1. A potential change in the distribution of both species is predicted due to climate change, indicating an increase in <i>T. cruzi</i> transmission risk by the year 2050; 2. Predicted shift of CD risk due to climate change.	[29]
<i>P. lecticularia</i> , <i>T. protracta</i> and <i>T. sanguisuga</i>	United States	2030	1. The increase in temperature is expected to promote the expansion of the vector range by the year 2030; 2. Potential for CD to emerge in the country; 3. It is believed that interdisciplinary collaboration is necessary to increase the accuracy of future disease risk predictions.	[30]
<i>Panstrongylus geniculatus</i> , <i>E. mucronatus</i> , <i>Rhodnius prolixus</i> , <i>R. robustus</i> and <i>T. maculata</i>	Venezuela	2020 2060 2080	1. Global climate change is predicted to slightly decrease the overall vulnerability of the population to <i>T. cruzi</i> vector species; 2. It is believed that fewer citizens will be exposed to <i>T. cruzi</i> vectors over the next 50–70 years; 3. Predictions can enhance the ability to prevent and control CD transmission in Venezuela in the future.	[25]
<i>R. prolixus</i> and <i>T. infestans</i>	Venezuela Argentina	2050	1. Forecasts reveal the increased expansion of <i>R. prolixus</i> to new areas and a decrease in the current geographical range of <i>T. infestans</i> ; 2. Overall study conclusions reflect a lower incidence of CD infections by 2050.	[26]

<i>T. brasiliensis brasiliensis</i> , <i>T. b. macromelasoma</i> , <i>T. juazeirensis</i> , <i>T. sherlocki</i> and <i>T. melanica</i>	Brazil	2020 2050	1. Projection of little change in species' distributions under future climate change scenarios; 2. <i>T. b. brasiliensis</i> has the greatest distributional potential to colonize new areas; 3. Conclusions may help guide proactive surveillance and control activities to reduce the risk of future CD transmission.	[31]
<i>T. infestans</i>	Chile	2070	1. The distribution under two global climate change scenarios showed low variation, with a minimal reduction tendency in suitable areas; 2. Climate change appears to play a major role in the reemergence of CD and of the vector in the country; 3. The impact of temperature and precipitation on the distribution of <i>T. infestans</i> indicates the need for aggressive vector control efforts in Chile.	[32]
<i>M. epraia spinolai</i> and <i>M. gajardoi</i>	Chile	2070	1. Under future climate conditions, these species could modify their potential geographical range; 2. The suitable areas for both species may be greater than currently known, generating new challenges in terms of vector control and prevention; 3. Preventive measures to avoid accidental human vectorial transmission by wild vectors of <i>T. cruzi</i> become critical, considering the uncertainty of the future suitable areas projected in this study.	[27]
<i>P. geniculatus</i> , <i>P. megistus</i> , <i>R. brethesi</i> , <i>R. ecuadoriensis</i> , <i>R. prolixus</i> , <i>T. b. brasiliensis</i> , <i>T. dimidiata</i> , <i>T. infestans</i> , <i>T. maculata</i> , <i>T. rubrofasciata</i> and <i>T. sordida</i>	Different countries from five continents: Africa, Asia, Europe, Oceania and America.	2030	1. Global species distribution modeling revealed several regions with current suitable climatic conditions; 2. <i>R. brethesi</i>, <i>R. ecuadoriensis</i> and <i>T. maculata</i> are limited to one or a few areas with mostly tropical climate; 3. <i>T. b. brasiliensis</i>, <i>P. geniculatus</i>, <i>P. megistus</i>, <i>R. prolixus</i>, <i>T. dimidiata</i> and <i>T. rubrofasciata</i> find suitable climate conditions in a broad range of tropical and subtropical regions; 4. <i>T. sordida</i> and <i>T. infestans</i> possess a broad potential range in temperate regions; 5. It may be beneficial to establish national and international vector surveillance programs to monitor the spread of vectors and to register CD as a reportable disease.	[33]

Although the influence of man on the integrity of species, with the possibility of hybridization events between isolated species, has been known since 1930 [37], current climate and environmental changes of anthropogenic origin are generating large-scale habitat modifications (which increase the possibility of these evolutionary events occurring) [38]. Chunco [38] points out that novel hybrid zones will be able to graduate if climate change removes habitat barriers between allopatric sister taxa. However, most studies have only analyzed changes in the structure of communities influenced by climate change [39,40], with little research on the effect of climate and environmental changes on the reproductive interactions of species [38,41,42].

Currently, it is known that in addition to altering ecological processes (ranging from the decoupling of interactions between species [43] to the restructuring of entire ecosystems [44]), climate and environmental changes will have consequences for evolutionary processes as many species will face modified selection regimes with the new climates and, to avoid extinction, they must adapt or disperse to more favorable environments, which will directly influence the evolutionary processes of several species [38]. Chunco [38] points out that as these changes are reorganizing species assemblages and are breaking down physical, temporal and behavioral reproductive barriers, climate and environmental changes caused by man will probably dramatically increase the probability of hybridization for future communities, potentially resulting in introgression, speciation or even extinction events.

Currently, 157 species of triatomines are known, divided into 18 genera and five tribes [45–47], with all of them considered as potential CD vectors. The tribe Rhodniini Pinto, 1926 is a monophyletic group composed of two genera: *Rhodnius* Stål, 1859 and *Psammolestes* Bergroth, 1911 [48–52]. Members of the genus *Rhodnius* have been grouped into three major groups: *pallenscens* (considered as trans-Andean group, with distribution in the west of the Andes mountain range), *pictipes* and *prolixus* (considered as cis-Andean groups, with distribution in the eastern Andes and in the Amazon) [52]. The species of the genus *Rhodnius* present a complex taxonomy; although the differentiation of the species was initially based only on morphological distinctions and similarities [53,54], the events of phenotypic plasticity and cryptic speciation make it difficult to correctly classify these vectors [55].

The analysis of the impact of climate change on the distribution of *Rhodnius* spp. demonstrates that these changes can potentially increase the range of the different species of *Rhodnius* [26,33]: Medona et al. [26] demonstrated that *R. prolixus* Stål, 1859 shows a future expansion to new areas from Venezuela, with emphasis on the current states that present low risk (Amazonas, Bolívar and Apure); in addition, models evaluated by Eberhard et al. [33] project large climatically suitable areas for *R. prolixus* in tropical regions in South America, Central America, the Caribbean, Central and East Africa, eastern Madagascar, in the south of India and Sri Lanka and throughout Southeast Asia. The projected range of *R. brethesi* Matta, 1919 and *R. ecuadoriensis* Lent & León, 1958 is limited to areas with an equatorial, tropical wet climate, namely, the Amazon region in South America and Southeast Asia (Indonesia, Malaysia, New Guinea) for *R. brethesi* and western Ecuador, parts of Indonesia, Malaysia and Papua-New Guinea as well as the Congo Basin for *R. ecuadoriensis* [33]. Furthermore, only a few regions outside the Americas with a distinctly tropical climate have been projected as climatically suitable for both species, including the Congo Basin in Central Africa and a few parts of Southeast Asia [33].

Knowledge of the reproductive interaction of members of the Rhodniini tribe is restricted to only four crosses, namely, between *R. prolixus* and *R. neglectus* Lent, 1954, *R. robustus* Larrousse, 1927 and *R. pictipes* Stål, 1872, *R. pallenscens* Barber, 1932 and *R. colombiensis* Mejia, Galvão & Jurberg, 1999 and *P. tertius* Lent & Jurberg, 1965 and *P. coreodes* Bergroth, 1911 [56–59]. These crosses indicate that, possibly, there are no interspecific pre-zygotic reproductive barriers for the species of this tribe since hybrids were obtained for at least one of the directions of all crosses [56–59].

In view of the issues related to the influence of anthropogenic changes (climate and environmental changes) in the dynamics of distribution and reproductive interaction of species and considering that the knowledge about the CD vectors of the Rhodniini tribe is still incipient, we performed experimental crosses between species of this tribe in order to evaluate interspecific reproductive interactions and hybrid production capacity.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Crosses

In order to evaluate the reproductive compatibility [60] between the species of the genus *Rhodnius*, reciprocal crossing experiments were conducted among *R. brethesi* × *R. pictipes*, *R. colombiensis* × *R. ecuadoriensis*, *R. neivai* Lent, 1953 × *R. prolixus*, *R. robustus* × *R. prolixus*, *R. montenegrensis* Rosa et al., 2012 × *R. marabaensis* Souza et al., 2016, *R. montenegrensis* × *R. robustus*, *R. prolixus* × *R. nasutus* Stål, 1859 and *R. neglectus* × *R. milesi* Carcavallo, Rocha, Galvão & Jurberg, 2001. The experiments were carried out in the Triatominae Insectarium of FCFAR/UNESP, Araraquara, São Paulo, Brazil. Parental insects were randomly selected from live colonies maintained at the FCFAR/UNESP insectarium. The insects were sexed as 5th instar nymphs [61], and male and female nymphs were kept in separate pots until they performed the imaginal molt and reached the adult stage, thus ensuring that the triatomines used in the experiments were adult virgins [62]. For the crosses, five couples from each set were placed in separated plastic jars (5 cm in diameter × 10 cm in height) and kept at room temperature (average of 24 °C [63]) and an average relative humidity of 63% [63]. The crosses were maintained for 4 months. Weekly, the insects were fed with duck blood and the eggs were collected. At the end of the experiment, the egg-hatching rate was calculated.

2.2. Distribution Maps

The distribution maps for *Rhodnius* and *Psammolestes* species were made with QGIS 3.24 [64]. Species occurrence data were obtained from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (Table 2). All available coordinates for each taxon have been included.

Table 2. List of occurrence datasets for each species obtained from GBIF.

Species	GBIF Dataset
<i>Psammolestes coreodes</i> Bergroth, 1911	https://doi.org/10.15468/dl.vhbk9r
<i>Psammolestes tertius</i> Lent & Jurberg, 1966	https://doi.org/10.15468/dl.d78jfs
<i>Rhodnius brethesi</i> Matta, 1919	https://doi.org/10.15468/dl.hctjyp
<i>Rhodnius colombiensis</i> Mejia, Galvão & Jurberg, 1999	https://doi.org/10.15468/dl.muvwy2
<i>Rhodnius ecuadoriensis</i> Lent & León, 1958	https://doi.org/10.15468/dl.bbc7ft
<i>Rhodnius marabaensis</i> Souza et al., 2016	https://doi.org/10.15468/dl.v32gdm
<i>Rhodnius milesi</i> Carcavallo, Rocha, Galvão & Jurberg, 2001	https://doi.org/10.15468/dl.ga2kks
<i>Rhodnius montenegrensis</i> da Rosa et al., 2012	https://doi.org/10.15468/dl.7gjaws
<i>Rhodnius nasutus</i> Stål, 1859	https://doi.org/10.15468/dl.e8vm73
<i>Rhodnius neglectus</i> Lent, 1954	https://doi.org/10.15468/dl.9w7xdu
<i>Rhodnius neivai</i> Lent, 1953	https://doi.org/10.15468/dl.zghcuf
<i>Rhodnius pictipes</i> Stål, 1872	https://doi.org/10.15468/dl.tknw8g
<i>Rhodnius prolixus</i> Stål, 1859	https://doi.org/10.15468/dl.ggavgu
<i>Rhodnius robustus</i> Larrousse, 1927	https://doi.org/10.15468/dl.bcps8k

3. Results and Discussion

All experimental crosses resulted in hybrids (in at least one direction) (Table 3, Figures 1 and 2). These data, together with data from the literature [56–59], confirm that pre-zygotic reproductive barriers are absent among most species of the Rhodniini tribe since only the experimental crosses between *R. pictipes* ♀ × *R. brethesi* ♂, *R. ecuadoriensis* ♀ ×

R. colombiensis ♂ and *R. prolixus* ♀ × *R. neivai* ♂ [even though interspecific copulations have occurred and have been observed (Figure 3)] did not result in a hybrid.

Table 3. Interspecific crosses performed in the Rhodniini tribe.

Rhodniini	Crossing Experiments	Eggs	Hybrids	Hatch Rate
<i>Psammolestes</i>	<i>P. coreodes</i> ♀ × <i>P. tertius</i> ♂	54	23	43%
	<i>P. tertius</i> ♀ × <i>P. coreodes</i> ♂	117	30	26%
<i>Rhodnius</i>	<i>R. marabaensis</i> ♀ × <i>R. montenegrensis</i> ♂	214	128	60%
	<i>R. montenegrensis</i> ♀ × <i>R. marabaensis</i> ♂	436	36	08%
	<i>R. brethesi</i> ♀ × <i>R. pictipes</i> ♂	268	16	06%
	<i>R. pictipes</i> ♀ × <i>R. brethesi</i> ♂	162	00	00%
	<i>R. colombiensis</i> ♀ × <i>R. ecuadoriensis</i> ♂	170	45	06%
	<i>R. ecuadoriensis</i> ♀ × <i>R. colombiensis</i> ♂	42	00	00%
	<i>R. montenegrensis</i> ♀ × <i>robustus</i> ♂	565	331	59%
	<i>R. robustus</i> ♀ × <i>R. montenegrensis</i> ♂	611	484	57%
	<i>R. neivai</i> ♀ × <i>R. prolixus</i> ♂	70	22	31%
	<i>R. prolixus</i> ♀ × <i>R. neivai</i> ♂	368	00	00%
	<i>R. prolixus</i> ♀ × <i>R. nasutus</i> ♂	318	71	22%
	<i>R. nasutus</i> ♀ × <i>R. prolixus</i> ♂	316	14	04%
	<i>R. milesi</i> ♀ × <i>R. neglectus</i> ♂	357	81	23%
	<i>R. neglectus</i> ♀ × <i>R. milesi</i> ♂	366	314	86%
	<i>R. robustus</i> ♀ × <i>R. prolixus</i> ♂	622	447	72%
	<i>R. prolixus</i> ♀ × <i>R. robustus</i> ♂	437	221	51%
	<i>R. taquarussuensis</i> (syn. <i>R. neglectus</i>) ♀ × <i>R. neglectus</i> ♂	540	496	92%
	<i>R. neglectus</i> ♀ × <i>R. taquarussuensis</i> (syn. <i>R. neglectus</i>) ♂	737	636	85%

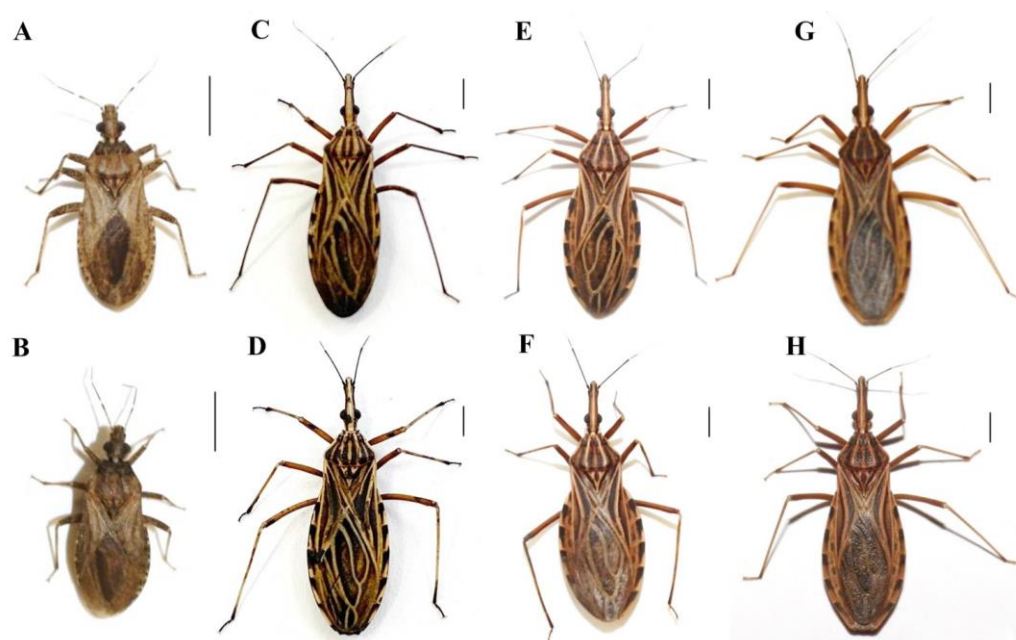


Figure 1. Hybrids resulting from crosses between species of the Rhodniini tribe. Hybrids resulting from crosses between *P. coreodes* ♀ × *P. tertius* ♂ (A), *P. tertius* ♀ × *P. coreodes* ♂ (B), *R. marabaensis* ♀ × *R. montenegrensis* ♂ (C), *R. montenegrensis* ♀ × *R. marabaensis* ♂ (D), *R. montenegrensis* ♀ × *robustus* ♂ (E), *R. robustus* ♀ × *R. montenegrensis* ♂ (F), *R. prolixus* ♀ × *R. nasutus* ♂ (G), and *R. nasutus* ♀ × *R. prolixus* ♂ (H).

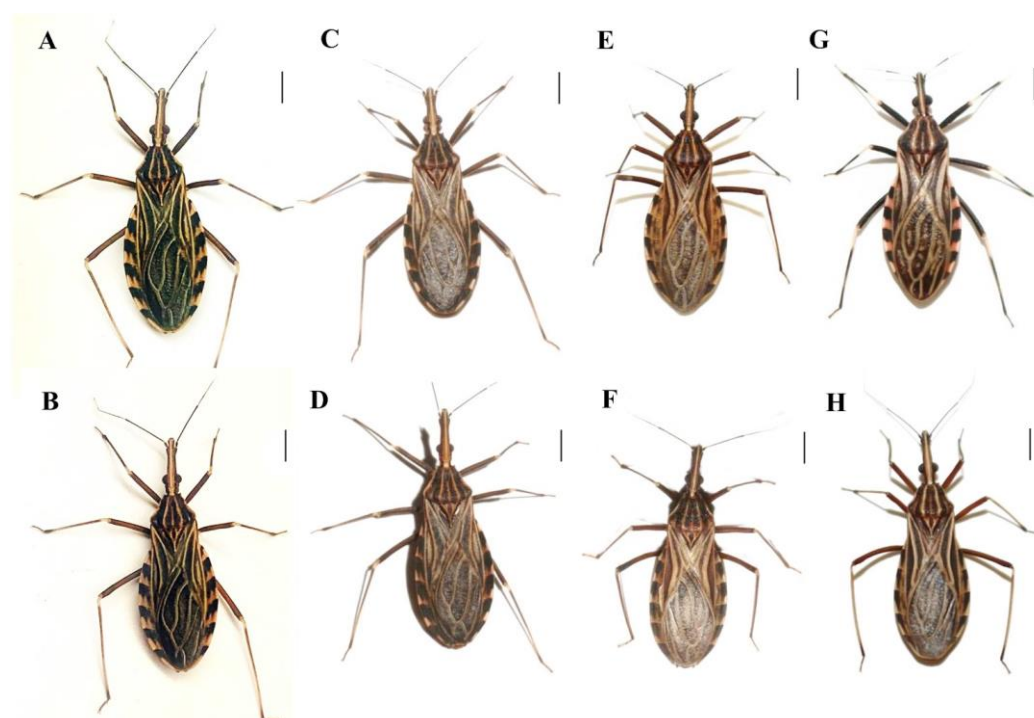


Figure 2. Hybrids resulting from crosses between species of the Rhodniini tribe. Hybrids resulting from crosses between *R. milesi* ♀ × *R. neglectus* ♂ (A), *R. neglectus* ♀ × *R. milesi* ♂ (B), *R. taquarussuensis* (syn *R. neglectus*) ♀ × *R. neglectus* ♂ (C), *R. neglectus* ♀ × *R. taquarussuensis* (syn *R. neglectus*) ♂ (D), *R. robustus* ♀ × *R. prolixus* ♂ (E), *R. prolixus* ♀ × *R. robustus* ♂ (F), *R. brethesi* ♀ × *R. pictipes* ♂ (G), and *R. neivai* ♀ × *R. prolixus* ♂ (H).

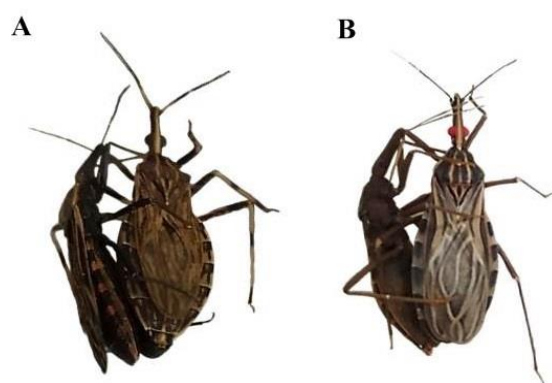


Figure 3. Interspecific crosses between *R. pictipes* ♀ × *R. brethesi* ♂ (A) and *R. prolixus* ♀ × *R. neivai* ♂ (B). Note: The background was removed with Adobe Photoshop CS6.

Some studies in the literature have evaluated how the current scenario associated with climate change can affect the geographic distribution of triatomine species [25–34]. However, until now, the influence of these changes on the reproductive dynamics of vectors of the Rhodniini tribe has never been discussed. Evaluating the hybridization capacity between vector species also has epidemiological implications [65–71] since it is known that under laboratory conditions, Triatominae hybrids may present greater vector competence than the parents [66–69,71].

Triatomines are potential vectors from the hatching of eggs, that is, all nymph stages (first- to fifth-instar nymphs) (males and females), as well as adults (males and females) are hematophagous and can transmit *T. cruzi* through faeces/urine if infected [35]. The genera *Triatoma* Laporte, 1832, *Panstrongylus* Berg, 1879 and *Rhodnius* are the most important for the epidemiology of CD [72]. *Rhodnius prolixus* is the main domestic vector of

T. cruzi in Venezuela, Colombia, and parts of Central America [73,74], *R. pallescens* is an important vector of *T. cruzi* in Panama [75] and *R. ecuadoriensis* is an important vector in Ecuador [76,77]. In addition, other species are highlighted as vectors of secondary importance, such as *R. neglectus* [78] and *R. nasutus* [79].

Several studies carried out with *Triatoma* spp. have shown that triatomine hybrids can play an important role in the transmission of CD: Martinez-Ibarra et al. [66,67] evaluated three behaviors of epidemiological importance (the time interval for the onset of feeding, feeding time and defecation time) for five *Triatoma* species from Mexico and their hybrids and demonstrated that hybrids have more potential to acquire infection and transmit *T. cruzi* than the parental species; in addition, Martinez-Ibarra et al. [68] and Meraz-Medina et al. [69] evaluated biological parameters related to hatching, lifetime, number of blood meals to molt, percentage of females at the end of the cycle, number of laid eggs, and mortality for each instar of five *Triatoma* species from Mexico and their hybrids and observed that in four of the six studied parameters (accumulative mortality, the percentage of females, mean number of laid eggs and eggs hatching), the hybrid cohorts had better fitness results than the parental cohorts. López et al. [80] analyzed the dynamics of feeding–defecation behavior in fifth-stage nymphs and adults of hybrids resulting from the cross between *T. platensis* (Neiva, 1913) and *T. infestans* (Klug, 1834) and compared them with the parents. The authors noted that adults and fifth-instar nymphs of hybrids have a feeding and defecation behavior similar to *T. infestans*: they achieve feeding in a short time and first defecation occurs during or just after feeding. Nevertheless, the hybrid's ingestion of blood occurs at a higher velocity and they require higher blood intake to provoke early defecations. Lastly, Vicente et al. [81] analyzed the feeding and defecation pattern of *T. rosai* Alevi et al., 2020, *T. sordida* (Stål, 1859) and the experimental hybrids and observed that there was no significant difference between the times of feeding and defecation and both parents and hybrids defecated during the blood meal.

Based on the scientific information related to the epidemiological importance of Triatominae hybrids [65–71,80], the authors raise some questions: i. the hybrid cohorts were more effective vectors of *T. cruzi* than their parental species, which could indicate a potentially higher risk of transmission of *T. cruzi* to reservoir hosts; ii. the increase in hybrid fitness could lead to an increase in the epidemiologic risks caused by the transmission of *T. cruzi* to humans; and iii. based on blood ingestion velocity, the amount of blood ingested, and the short time required for the production of the first defecation, the hybrids can be a competent *T. cruzi* vector.

Faced with climate and environmental changes, reorganizations in the distribution of species are taking place, which can increase the probability of encounters between allopatric species under natural conditions [38]. Ecological niche modeling studies, which make it possible to predict the effects of climate variations on biodiversity (and, in the case of CD vectors, it allows the prediction of areas at risk of transmission of *T. cruzi*), demonstrate that the potential geographic distribution of triatomines may also result in encounters between allopatric species in possible new distribution areas [31,82]. Our results demonstrate that both allopatric (Figures 4–9) and sympatric (Figures 10–12) *Rhodnius* species produce hybrids (Table 3), which can generate concern for public health agencies in the face of current anthropogenic events.

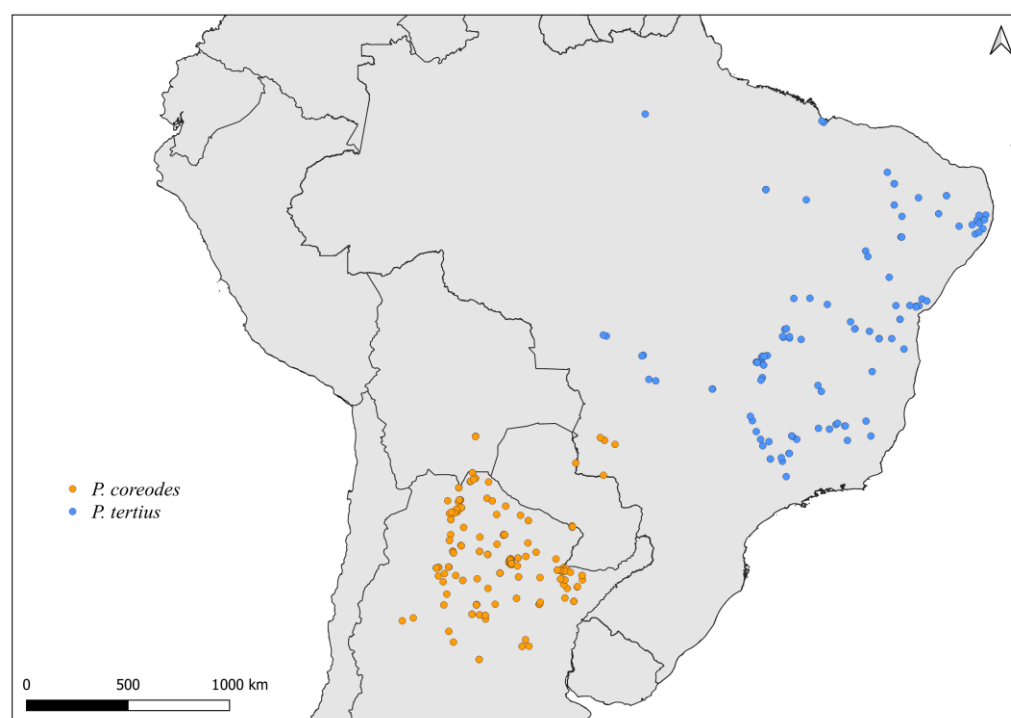


Figure 4. Distribution maps for *P. coreodes* and *P. tertius*.

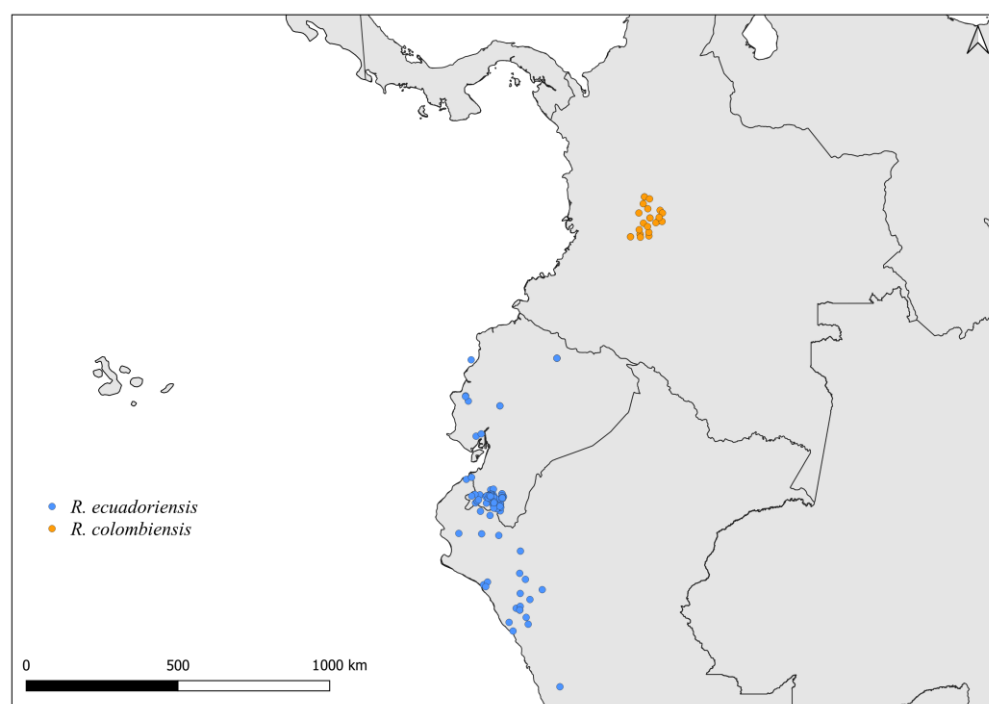


Figure 5. Distribution maps for *R. ecuadoriensis* and *R. colombiensis*.

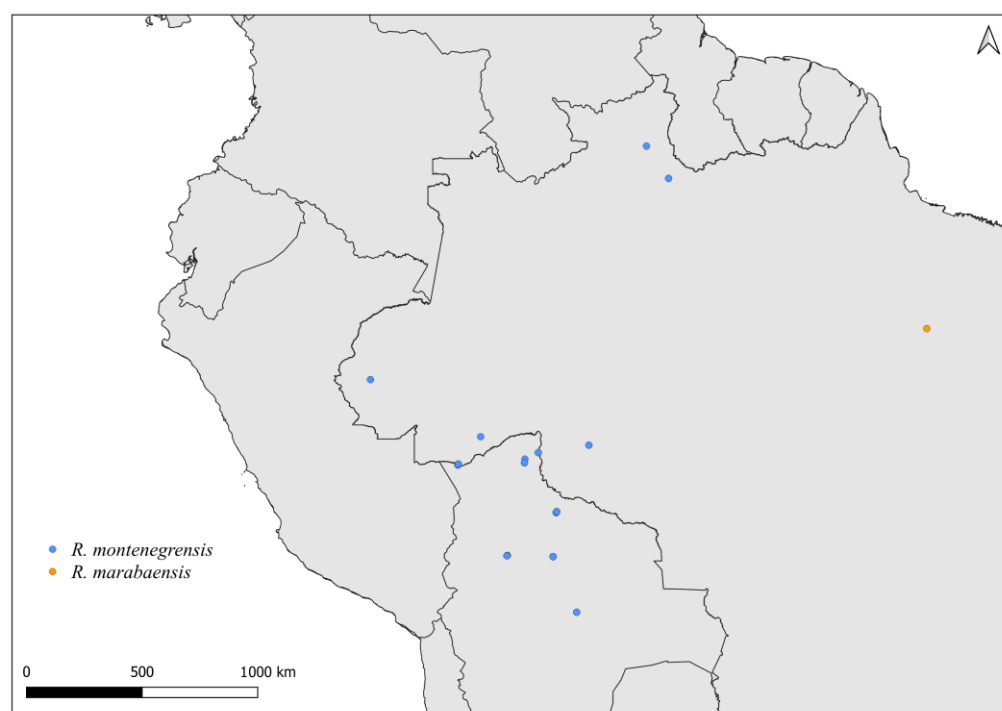


Figure 6. Distribution maps for *R. montenegrensis* and *R. marabaensis*.

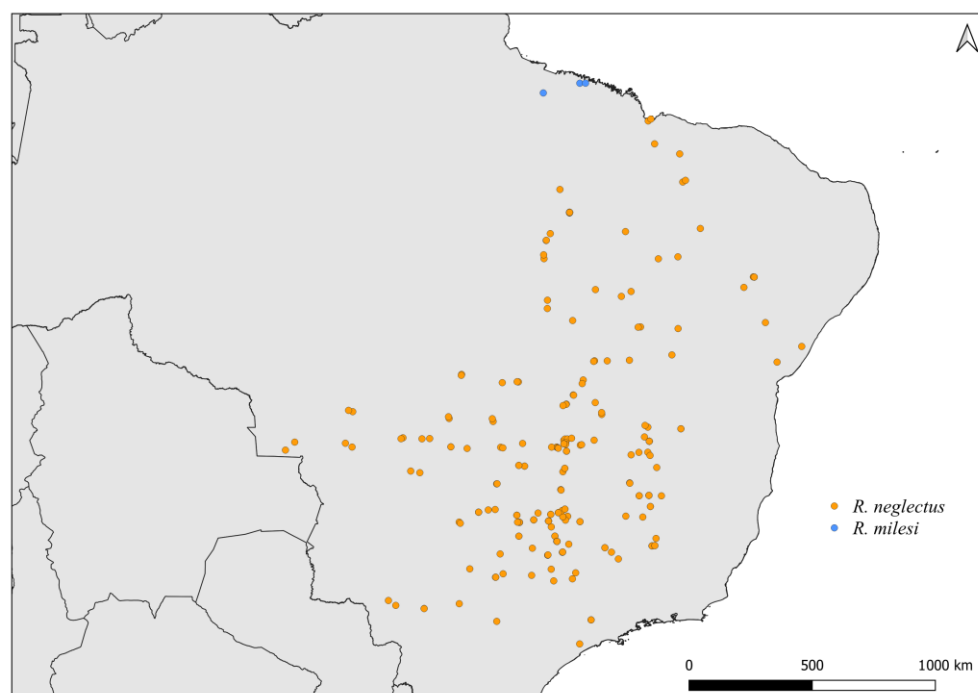


Figure 7. Distribution maps for *R. neglectus* and *R. milesi*.

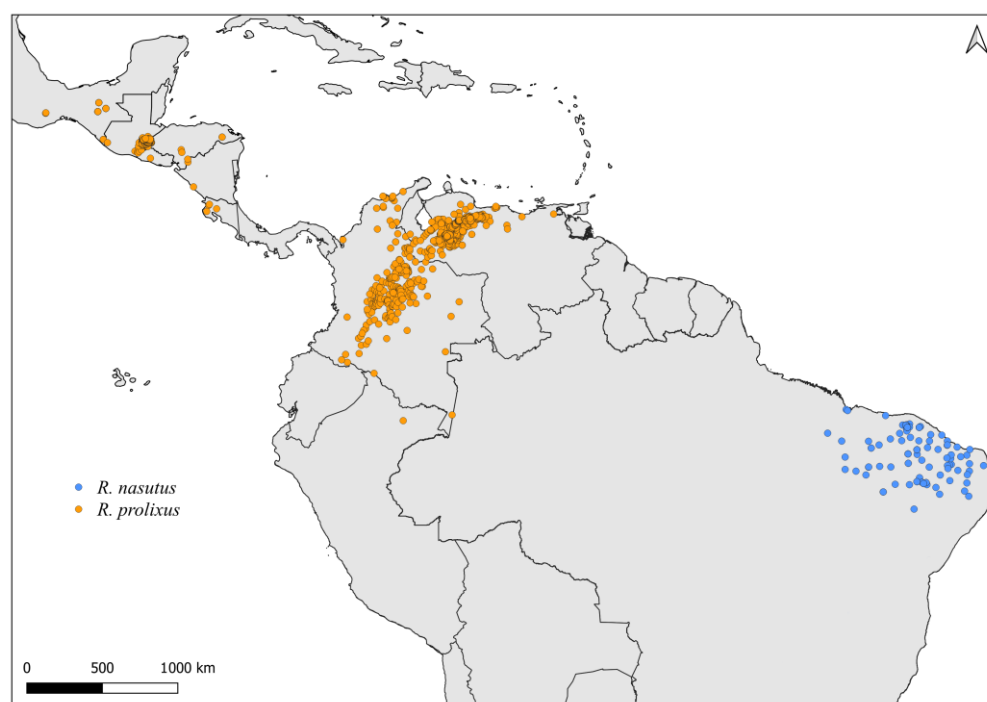


Figure 8. Distribution maps for *R. nasutus* and *R. prolixus*.

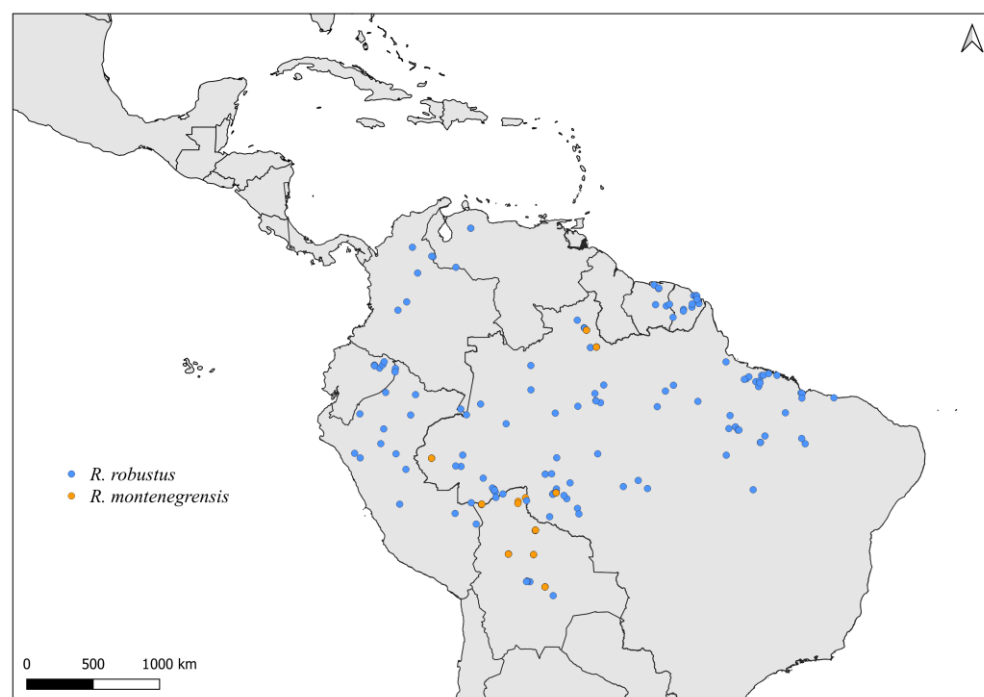


Figure 9. Distribution maps for *R. robustus* and *R. montenegrensis*.

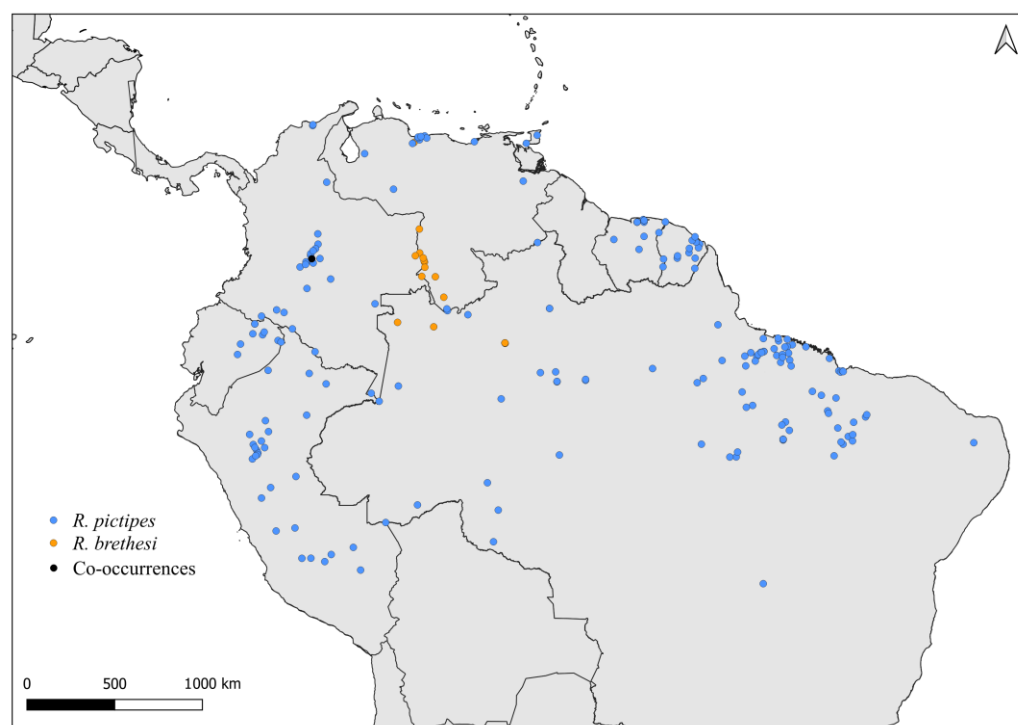


Figure 10. Distribution maps for *R. brethesi* and *R. pictipes*.

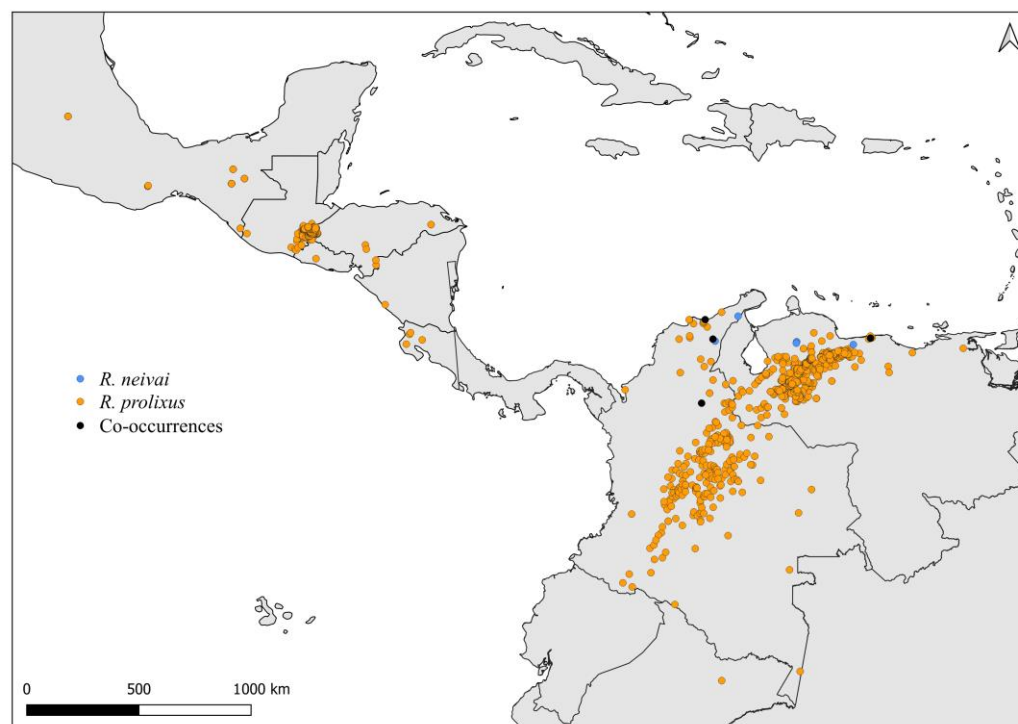


Figure 11. Distribution maps for *R. neivai* and *R. prolixus*.

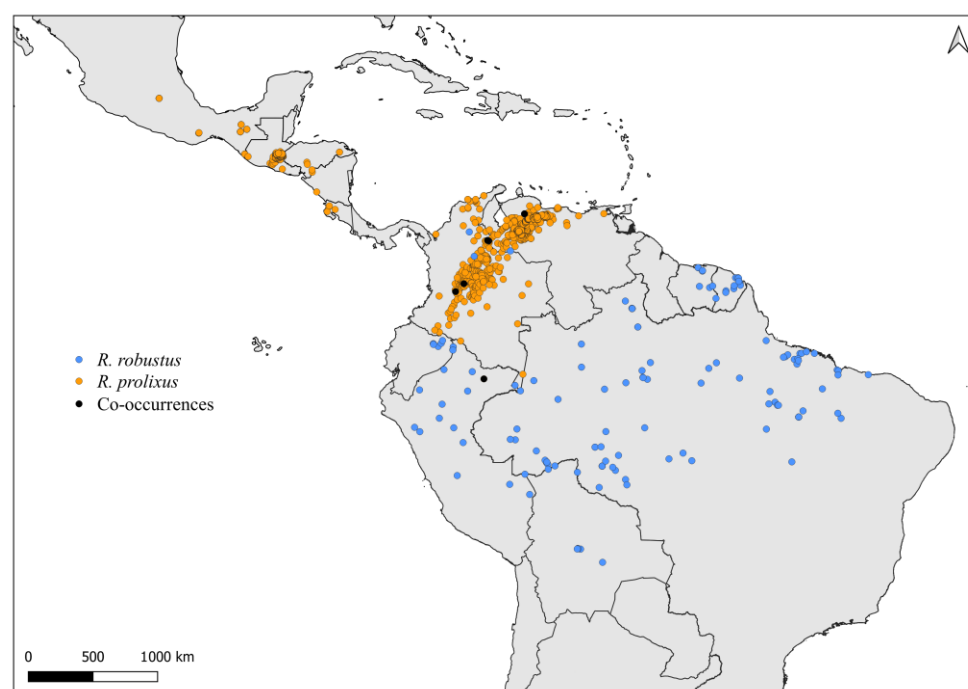


Figure 12. Distribution maps for *R. prolixus* and *R. robustus*.

Introgression (or “introgressive hybridization”) describes the incorporation (usually via hybridization and backcrossing) of alleles from one entity (species) into the gene pool of a second, divergent entity (species) [83,84]. Among the possible events associated with the phenomenon of hybridization in vector insects, introgression has evolutionary and, above all, epidemiological importance [85,86]. This phenomenon can allow genes related to the capacity and/or vector competence of the main vector species of CD to be transferred to wild species (thus increasing the number of vectors of primary importance).

The possibility of hybrid formation between *Rhodnius* species, demonstrated under experimental conditions (Table 3), highlights the need for attention from the scientific community and, mainly, of health agents since the *Rhodnius* taxonomy, which is already complex due to phenotypic plasticity events and cryptic speciation [55], could become even more complex if natural hybrids begin to be collected by residents or in entomoepidemiological surveys.

Souza et al. [87] highlight that important changes in the epidemiology of CD may occur as a result of environmental changes produced by deforestation, changes in land cover and unplanned urbanization and emphasize that they do not expect changes in the epidemiology of CD as a direct consequence of climate change in the short term. Our results, on the other hand, demonstrate that the hybridization capacity of the species of the Rhodniini tribe can be a worrying factor in the short term in the face of climate change; hence, it is necessary to intensify the control systems and continuous surveillance of triatomines.

4. Conclusions

Here, we demonstrate that species of the Rhodniini tribe can produce hybrids under laboratory conditions. These results are of great epidemiological importance and raise an important discussion about the influence of climatic and environmental interactions on CD dynamics, emphasizing the need to carry out studies to assess the capacity and vectorial competence of hybrids of *Rhodnius* spp.

Author Contributions: Conceptualization, A.R., J.d.O. and K.C.C.A.; methodology, A.R., J.d.O., F.F.M., G.M.N., Y.V.d.R., A.B.B.d.O., L.M.S.A. and K.C.C.A.; formal analysis, A.R., J.d.O., F.F.M., G.M.N., Y.V.d.R., A.B.B.d.O., L.M.S.A., C.G., M.T.V.d.A.-O., J.A.d.R. and K.C.C.A.; investigation, A.R., J.d.O., F.F.M., Y.V.d.R., A.B.B.d.O., C.G., M.T.V.d.A.-O., J.A.d.R. and K.C.C.A.; resources, A.R., F.F.M., Y.V.d.R., A.B.B.d.O., C.G., M.T.V.d.A.-O., J.A.d.R. and K.C.C.A.; writing—original draft preparation, A.R. and K.C.C.A.; writing—review and editing, A.R., J.d.O., F.F.M., G.M.N., Y.V.d.R., A.B.B.d.O., L.M.S.A., C.G., M.T.V.d.A.-O., J.A.d.R. and K.C.C.A.; supervision, K.C.C.A., J.d.O. and M.T.V.d.A.-O.; project administration, K.C.C.A., and M.T.V.d.A.-O.; funding acquisition, K.C.C.A., C.G., J.A.d.R., and M.T.V.d.A.-O. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)—Finance Code 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). The funders had no role in study design, data collection and analysis, the decision to publish, or the preparation of the manuscript.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: All relevant data are within the manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. World Health Organization. Available online: https://www.who.int/health-topics/neglected-tropical-diseases#tab=tab_1 (accessed on 18 January 2023).
2. Hotez, P.J.; Alvarado, M.; Basáñez, M.C.; Bolliger, I.; Bourne, R.; Boussinesq, M.; Broker, S.J.; Brown, A.S.; Buckle, G.; Budke, C.M.; et al. The global burden of disease study 2010: Interpretation and implications for the neglected tropical diseases. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2014**, *8*, e2865.
3. World Health Organization. Available online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/77950> (accessed on 18 January 2023).
4. World Health Organization. Available online: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44440/9789241564090_eng.pdf?sequence=1 (accessed on 18 January 2023).
5. Martins-Melo, F.R.; Ramos, A.N., Jr.; Alencar, C.H.; Heukelbach, J. Prevalence of Chagas disease in Brazil: A systematic review and meta-analysis. *Acta Trop.* **2014**, *130*, 167–174.
6. Molyneux, D.H.; Savioli, L.; Engels, D. Neglected tropical diseases: Progress towards addressing the chronic pandemic. *Lancet* **2017**, *389*, 312–325.
7. Conteh, L.; Engels, T.; Molyneux, D.H. Socioeconomic aspects of neglected tropical diseases. *Lancet* **2010**, *375*, 239–247.
8. Hotez, P.J. Ten global “hotspots” for the neglected tropical diseases. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2014**, *8*, e2496.
9. Cable, J.; Barber, I.; Boag, B.; Ellison, A.R.; Morgan, E.R.; Murray, K.; Pascoe, E.L.; Sait, S.M.; Wilson, A.J.; Booth, M. Global change, parasite transmission and disease control: Lessons from ecology. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **2017**, *372*, 20160088.
10. Tidman, R.; Abela-Ridder, B.; Castañeda, R.R. The impact of climate change on neglected tropical diseases: A systematic review. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* **2021**, *115*, 147–168.
11. Booth, M. Climate Change and the Neglected Tropical Diseases. *Adv. Parasitol.* **2018**, *100*, 39–126.
12. Rassi-Junior, A.; Rassi, A.; Marin-Neto, J.A.; Chagas disease. *Lancet* **2010**, *375*, 1388–1402.
13. World Health Organization. Available online: [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-\(american-trypanosomiasis\)](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis)) (accessed on 18 January 2023).
14. Pacheco-Tucuch, F.S.; Ramirez-Sierra, M.J.; Gourbière, S.; Dumonteil, E. Public street lights increase house infestation by *Triatoma dimidiata*, vector of Chagas disease in the Yucatan peninsu. *PLoS ONE Public Libr. Sci.* **2012**, *7*, e36207.
15. Gottdenker, N.L.; Chaves, L.F.; Calzada, J.E.; Saldaña, A.; Carrol, C.R. Host life history strategy, species diversity, and habitat influence *Trypanosoma cruzi* vector infection in Changing landscapes. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2012**, *6*, e1884.
16. Ribeiro-Júnior, G.; Gurgel-Gonçalves, R.; Reis, R.B.; Santos, C.G.S.; Amorim, A.; Andrade, S.G.; Reis, M.G. Frequent house invasion of *Trypanosoma cruzi*-infected triatomines in a suburban area of Brazil. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2015**, *9*, e0003678.
17. Rojas-Cortez, M.; Pinazo, M.J.; García, L.; Arteaga, M.; Uriona, L.; Gamboa, S.; Mejía, C.; Lozano, D.; Gascon, J.; Torrico, F.; et al. *Trypanosoma cruzi*-infected *Panstrongylus geniculatus* and *Rhodnius robustus* adults invade households in the tropics of Cochabamba region of Bolivia. *Parasites Vectors* **2016**, *9*, 158.

18. Garcia, M.N.; O'Day, S.; Fisher-Hoch, S.; Gorchakov, R.; Patino, R.; Feria Arroyo, T.P.; Laing, S.T.; Lopez, J.E.; Ingber, A.; Jones, K.M.; et al. One Health interactions of Chagas disease vectors, canid hosts, and human residents along the Texas-Mexico border. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2016**, *10*, e0005074.
19. Curto de Casas, S.I.; Carcavallo, R.U.; Mena Segura, C.A.; Galíndez Girón, I. Bioclimatic factors of Triatominae distribution. Useful techniques for studies on climate change. *Entomol. Y Vectores* **1994**, *1*, 51–67.
20. Galvão, C.; Jurberg, J.; Carcavallo, R.U.; Mena Segura, C.A.; Galíndez Girón, I.; Curto de Casas, S.I. Distribuição geográfica e dispersão alti-latitudinal de alguns gêneros e espécies da tribo Triatomini Jeannel, 1919 (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* **1998**, *93*, 33–37.
21. Rocklöv, J.; Dubrow, R. Climate change: An enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nat. Immunol.* **2020**, *21*, 479–483.
22. Reiter, P. Climate change and mosquito-borne disease. *Environ. Health Perspect.* **2001**, *109*, 141–161.
23. Chaves, L.F.; Koenraadt, C.J. Climate change and highland malaria: Fresh air for a hot debate. *Q. Rev. Biol.* **2010**, *85*, 27–55.
24. Campbell-Lendrum, D.; Manga, L.; Bagayoko, M.; Sommerfeld, J. Climate change and vector-borne diseases: What are the implications for public health research and policy? *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **2015**, *370*, 20130552.
25. Ceccarelli, S.; Rabinovich, J.E. Global climate change effects on Venezuela's vulnerability to Chagas disease is linked to the geographic distribution of five triatomine species. *J. Med. Entomol.* **2015**, *52*, 1333–1343.
26. Medone, P.; Ceccarelli, S.; Parham, P.E.; Figureuera, A.; Rabinovich, J.E. The impact of climate change on the geographical distribution of two vectors of Chagas disease: Implications for the force of infection. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **2015**, *370*, 20130560.
27. Garrido, R.; Bacigalupo, A.; Peña-Gómez, F.; Bustamente, R.O.; Cattán, P.E.; Gorla, D.; Botto-Mahan, C. Potential impact of climate change on the geographical distribution of two wild vectors of Chagas disease in Chile: *Mepraia spinolai* and *Mepraia gajardoi*. *Parasit. Vector* **2019**, *12*, 478.
28. Carmona-Castro, O.; Moo-Llanes, D.A.; Ramsey, J.M. Impact of climate change on vector transmission of *Trypanosoma cruzi* (Chagas, 1909) in North America. *Med. Vet. Entomol.* **2018**, *32*, 84–101.
29. Garza, M.; Feria Arroyo, T.P.; Casillas, E.A.; Sanchez-Cordero, V.; Rivaldi, C.L.; Sarkar, S. Projected Future Distributions of Vectors of *Trypanosoma cruzi* in North America under Climate Change Scenarios. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2014**, *8*, e2818.
30. Lambert, R.C.; Kolivras, K.N.; Resler, L.M.; Brewster, C.C.; Paulson, S.L. The potential for emergence of Chagas disease in the United States. *Geospat. Health* **2008**, *2*, 227–239.
31. Costa, J.; Dornak, L.L.; Almeida, C.E.; Peterson, A.T. Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions. *Parasites Vectors* **2014**, *7*, 238.
32. Tapia-Garay, V.; Figueroa, D.P.; Maldonado, A.; Frías-Laserre, D.; Gonzalez, C.R.; Parra, A.; Canals, L.; Apt, W.; Alvarado, S.; Caceres, D.; et al. Assessing the risk zones of Chagas disease in Chile, in a world marked by global climatic change. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* **2018**, *113*, 24–29.
33. Eberhard, F.E.; Cunze, S.; Kochmann, J.; Klimpel, S. Modelling the climatic suitability of Chagas disease vectors on a global scale. *Elife* **2020**, *9*, e52072.
34. Graves, B.N. Climate Change and Chagas Disease in the Americas: A Qualitative Systematic Review. Available online: https://digitalcommons.library.tmc.edu/uthsph_dissertsopen/87 (accessed on 24 February 2023).
35. Chagas, C. Nova tripanozomíase humana: Estudos sobre a morfologia e o ciclo evolutivo do *Schizotrypanum cruzi* n. gen., n. sp., agente etiológico de nova entidade morbida do homem. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* **1909**, *1*, 159–218.
36. Cordovez, J.M.; Rendon, L.M.; Gonzalez, C.; Guhl, F. Using the basic reproduction number to assess the effects of climate change in the risk of Chagas disease transmission in Colombia. *Acta Trop.* **2014**, *129*, 74–82.
37. Wiegand, K.M. A taxonomist's experience with hybrids in the wild. *Science* **1935**, *81*, 161–166.
38. Chunco, A.J. Hybridization in a warmer world. *Ecol. Evol.* **2014**, *4*, 2019–2031.
39. Kardol, P.; Campany, C.E.; Souza, L.; Norby, R.J.; Weltzin, J.F.; Classen, A.T. Climate change effects on plant biomass alter dominance patterns and community evenness in an experimental old-field ecosystem. *Glob. Chang. Biol.* **2010**, *16*, 2676–2687.
40. Yang, H.; Wu, M.; Liu, W.; Zhang, Z.; Zhang, N.; Wan, S. Community structure and composition in response to climate change in a temperate steppe. *Glob. Chang. Biol.* **2011**, *17*, 452–465.
41. Garroway, C.J.; Bowman, J.; Cascaden, T.J.; Holloway, G.L.; Mahan, C.G.; Malcolm, J.R.; Steele, M.A.; Turner, J.; Wilson, P.J. Climate change induced hybridization in flying squirrels. *Glob. Chang. Biol.* **2010**, *16*, 113–121.
42. Wellenreuther, M.; Tynkynen, K.; Svensson, E.I. Simulating range expansion: Male species recognition and loss of premating isolation in damselflies. *Evolution* **2010**, *64*, 242–252.
43. Visser, M.E.; Both, C. Shifts in phenology due to global climate change: The need for a yardstick. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **2005**, *272*, 2561–2569.
44. Williams, J.W.; Jackson, S.T. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Front. Ecol. Environ.* **2007**, *5*, 475–482.
45. Alevi, K.C.C.; Oliveira, J.; Rocha, D.S.; Galvão, C. Trends in Taxonomy of Chagas Disease Vectors (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae): From Linnaean to Integrative Taxonomy. *Pathogens* **2021**, *10*, 1627.

46. Correia, J.P.S.O.; Gil-Santana, H.R.; Dale, C.; Galvão, C. *Triatoma guazu* Lent and Wygodzinsky Is a Junior Synonym of *Triatoma williamsi* Galvão, Souza and Lima. *Insects* **2022**, *13*, 591.
47. Gil-Santana, H.R.; Chavez, T.; Pita, S.; Panzera, F.; Galvão, C. *Panstrongylus noireaudi*, a remarkable new species of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) from Bolivia. *ZooKeys* **2022**, *1104*, 203–225.
48. Zhao, Y.; Galvão, C.; Cai, W. *Rhodnius micki*, a new species of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) from Bolivia. *ZooKeys* **2021**, *1012*, 71–93.
49. Justi, S.A.; Galvão, C.; Schrago, C.G. Geological changes of the Americas and their influence on the diversification of the Neotropical kissing bugs (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2016**, *10*, e0004527.
50. De Paula, A.S.; Barreto, C.; Telmo, M.C.M.; Diotaiuti, L.; Galvão, C. Historical biogeography and the evolution of hematophagy in Rhodniini (Heteroptera: Reduviidae: Triatominae). *Front. Ecol. Evol.* **2021**, *9*, 660151.
51. Hernández, C.; Alvarado, M.; Salgado-Roa, F.C.; Ballesteros, N.; Rueda-M, N.; Oliveira, J.; Alevi, K.C.C.; da Rosa, J.A.; Urbano, P.; Salazar, C.; et al. Phylogenetic relationships and evolutionary patterns of the genus *Psammolestes* Bergroth, 1911 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *BMC Ecol. Evol.* **2022**, *22*, 30.
52. Justi, S.A.; Galvão, C. The Evolutionary Origin of Diversity in Chagas Disease Vectors. *Trends Parasitol.* **2017**, *33*, 42–52.
53. Lent, H.; Wygodzinsky, P. Revision of the Triatominae (Hemiptera—Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas' disease. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* **1979**, *163*, 123–520.
54. Hernández, C.; Rosa, J.A.; Vallejo, G.A.; Guhl, F.; Ramirez, J.D.; Taxonomy, Evolution and Biogeography of the Rhodniini Tribe (Hemiptera: Reduviidae). *Diversity* **2020**, *2*, 12–97.
55. Abad-Franch, F.; Pavan, M.G.; Jaramillo, N.; Palomeque, F.S.; Dale, C.; Chaverra, D.; Monteiro, F.A. *Rhodnius barretti*, a new species of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) from western Amazonia. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* **2013**, *108*, 92–99.
56. Carvalheiro, J.R.; Barretto, M.P. Estudos sobre reservatórios e vetores silvestres do *Trypanosoma cruzi*. LX—Tentativas de cruzamento de *Rhodnius prolixus* Stal, 1859 com *Rhodnius neglectus* Lent, 1954 (Hemiptera, Reduviidae). *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* **1976**, *18*, 17–23.
57. Galíndez, G.L.; Barazarte, R.; Márquez, J.; Oviedo, M.; Márquez, Y.; Morón, L.; Carcavallo, R. Relaciones reproductivas entre *Rhodnius prolixus* Stal y *Rhodnius robustus* Larrousse (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) bajo condiciones de laboratorio. *Entomol. Y Vectores* **1994**, *1*, 3–13.
58. Díaz, S.; Panzera, F.; Jaramillo-O, N.; Pérez, R.; Fernández, R.; Vallejo, G.; Saldaña, A.; Calzada, J.E.; Triana, O.; Gómez-Palacio, A.; Genetic, Cytogenetic and Morphological Trends in the Evolution of the *Rhodnius* (Triatominae: Rhodniini) Trans-Andean Group. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e87493.
59. Ravazi, A.; Oliveira, J.; Campos, F.F.; Madeira, F.F.; Reis, Y.V.; Oliveira, A.B.B.; Azeredo-Oliveira, M.T.V.; Rosa, J.A.; Galvão, C.; Alevi, K.C.C. Trends in evolution of the Rhodniini tribe (Hemiptera, Triatominae): Experimental crosses between *Psammolestes tertius* Lent & Jurberg, 1965 and *P. coreodes* Bergroth, 1911 and analysis of the reproductive isolating mechanisms. *Parasites Vectors* **2021**, *14*, 350.
60. Mayr, E. *Animal Species and Evolution*; Harvard University Press: Cambridge, MA, USA, 1963.
61. Rosa, J.A.; Barata, J.M.S.; Barelli, N.; Santos, J.L.F.; Belda Neto, F.M. Sexual distinction between 5th instar nymphs of six species (Hemiptera: Reduviidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* **1992**, *87*, 257–264.
62. Martínez-Ibarra, J.Á.; Grant-Guillén, Y.; Delgadillo-Aceves, I.N.; Zumaya-Estrada, F.A.; Rocha-Chávez, G.; Salazar-Schettino, P.M.; Alejandre-Aguilar, R.; Villalobos, G.; Nogueta-Torres, B. Biological and genetic aspects of crosses between phylogenetically close species of Mexican Triatomines (Hemiptera: Reduviidae). *J. Med. Entomol.* **2011**, *48*, 705–707.
63. Olaia, N.; Alevi, K.C.C.; Oliveira, J.; Cacini, G.L.; Souza, E.D.S.; Pinotti, H.; Silva, L.A.; Rosa, J.A. Biology of Chagas disease vectors: Biological cycle and emergence rates of *Rhodnius marabaensis* Souza et al., 2016 (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) under laboratory conditions. *Parasitol. Res.* **2021**, *120*, 2939–2945.
64. Geographic Information System. Available online: <http://qgis.org> (accessed on 18 January 2023).
65. Vogels, C.B.F.; Fros, J.J.; Göertz, G.P.; Piljman, G.P.; Koenraadt, C.J.M.. Vector competence of northern European *Culex pipiens* biotypes and hybrids for West Nile virus is differentially affected by temperature. *Parasites Vectors* **2016**, *9*, 393.
66. Martínez-Ibarra, J.A.; Nogueta-Torres, B.; Salazar-Schettino, P.M.; Cabrera-Bravo, M.; Vences-Blanco, M.O.; Rocha-Chávez, G. Transmission Capacity of *Trypanosoma cruzi* (Trypanosomatida: Trypanosomatidae) by Three Subspecies of *Meccus phyllosomus* (Heteroptera: Reduviidae) and Their Hybrids. *J. Med. Entomol.* **2016**, *53*, 928–934.
67. Martínez-Ibarra, J.A.; Nogueta-Torres, B.; García-Lin, J.C.; Arroyoreys, D.; Salazar-Montaña, L.F.; Hernández-Navarro, J.A.; Díaz-Sánchez, C.G.; Toro-Arreola, E.S.D.; Rocha-Chávez, G. Importance of Hybrids of *Meccus phyllosomus mazzottii*, and *M. p. pallidipennis*, and *M. p. phyllosomus* to the Transmission of *Trypanosoma cruzi* in Mexico. *Jpn. J. Infect. Dis.* **2016**, *69*, 202–206.
68. Martínez-Ibarra, J.A.; Nogueta-Torres, B.; Salazar-Montaña, L.F.; García-Lino, J.C.; Arroyo-Reyes, D.; Hernández-Navarro, J.A. Comparison of biological fitness in crosses between subspecies of *Meccus phyllosomus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in southern Mexico. *Insect. Sci.* **2017**, *24*, 114–121.
69. Meraz-Medina, T.; Nogueta-Torres, B.; Ceballos-Rodríguez, R.S.; Godínez-Aceves, K.C.; Martínez-Ibarra, J.A. Enhancing fitness in offspring of crosses between two triatomine species. *J. Vector Ecol.* **2019**, *44*, 173–178.
70. Reis, Y.V.; Alevi, K.C.C. Hybridization in Phlebotominae (Diptera: Psychodidae): A mini-review. *Infect. Genet. Evol.* **2020**, *85*, 104593.

71. Martínez-Ibarra, J.A.; Cárdenas-Sosa, M.A.; Montañez-Valdez, O.D.; Michel-Parra, J.G.; Noguera-Torres, B. Biological parameters and estimation of the vectorial capacity of two subspecies of *Triatoma protracta* (Uhler) and their laboratory hybrids in Mexico. *J. Vector Ecol.* **2021**, *46*, 148–154.
72. Carrasco, H.J.; Segovia, M.; Londoño, J.C.; Ortegoza, J.; Rodríguez, M.; Martínez, C.E. *Panstrongylus geniculatus* and four other species of triatomine bug involved in the *Trypanosoma cruzi* enzootic cycle: High risk factors for Chagas' disease transmission in the Metropolitan District of Caracas, Venezuela. *Parasites Vectors* **2014**, *7*, 602.
73. Jansen, A.; Roque, A.L.R. Domestic and wild mammalian reservoirs. In *American Trypanosomiasis: Chagas Disease One Hundred Years of Research*, 1st ed.; Telleria, J., Tibyarenc, M., Eds.; Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 2010; pp. 249–276.
74. Peterson, J.K.; Graham, A.L.; Dobson, A.P.; Chávez, O.T. *Rhodnius prolixus* Life History Outcomes Differ when Infected with Different *Trypanosoma cruzi* I Strains. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **2015**, *93*, 564–572.
75. Zeledón, R.; Marín, F.; Calvo, N.; Lugo, E.; Valle, S. Distribution and ecological aspects of *Rhodnius pallescens* in Costa Rica and Nicaragua and their epidemiological implications. *Mem. Inst. Oswaldo. Cruz* **2006**, *101*, 75–79.
76. Grijalva, M.J.; Villacis, A.G.; Ocana-Mayorga, S.; Yumiseva, C.A.; Baus, E.G. Limitations of selective deltamethrin application for triatomine control in central coastal Ecuador. *Parasites Vectors* **2011**, *4*, 20.
77. Grijalva, M.J.; Palomeque-Rodriguez, F.S.; Costales, J.A.; Davila, S.; Arcos-Teran, L. High household infestation rates by synanthropic vectors of Chagas disease in southern Ecuador. *J. Med. Entomol.* **2005**, *42*, 68–74.
78. Silveira, A.C.; Rezende, D.F. Epidemiologia e controle da transmissão vetorial da doença de Chagas no Brasil. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* **1994**, *27*, 11–22.
79. Lima, M.M.; Coutinho, C.F.; Gomes, T.F.; Oliveira, T.G.; Duarte, R.; Borges-Pereira, J.; Bóia, M.N.; Sarquis, O. Risk presented by *Copernicia prunifera* palm trees in the *Rhodnius nasutus* distribution in a Chagas disease-endemic area of the Brazilian northeast. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **2008**, *79*, 750–754.
80. López, A.G.; Cardozo, M.; Oscherov, E.B.; Crocco, L.B. Dynamics of feeding and defecation behavior of *Triatoma infestans* hybrids. *Parasitol. Res.* **2020**, *119*, 2775–2781.
81. Vicente, R.D.; Madeira, F.F.; Borsatto, K.C.; Garcia, A.C.C.; Cristal, D.C.; Delgado, L.M.G.; Bittinelli, I.S.; Mello, D.V.; Reis, Y.V.; Ravazi, A.; et al. Morphological, Cytological and Molecular Studies and Feeding and Defecation Pattern of Hybrids from Experimental Crosses between *Triatoma sordida* and *T. rosai* (Hemiptera, Triatominae). *Pathogens* **2022**, *11*, 1302.
82. Galvão, C.; Gurgel-Gonçalves, R. Vetores conhecidos no Brasil. In *Vetores da Doença de Chagas no Brasil*, 1st ed.; Galvão, C., Ed.; SciELO: Curitiba, Brazil, 2014; pp. 88–170.
83. Anderson, E. *Introgressive Hybridization*, 1st ed.; Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1949.
84. Anderson, E.; Hubricht, L. Hybridization in Tradescantia. III. The evidence for introgressive hybridization. *Am. J. Bot.* **1938**, *25*, 396–402.
85. Fontaine, M.C.; Pease, J.B.; Steele, A.; Waterhouse, R.M.; Neafsey, D.E.; Sharakhov, I.V.; Jiang, X.; Hall, A.B.; Catruccia, F.; Kakani, E.; et al. Extensive introgression in a malaria vector species complex revealed by phylogenomics. *Science* **2014**, *347*, 1258524.
86. Vicente, J.L.; Clarkson, C.S.; Caputo, B.; Gomes, B.; Pombo, M.; Sousa, C.A.; Antao, T.; Dinis, J.; Bottà, G.; Mancini, E.; et al. Massive introgression drives species radiation at the range limit of *Anopheles gambiae*. *Sci. Rep.* **2017**, *7*, 46451.
87. Souza, R.C.M.; Gorla, D.E.; Chame, M.; Jaramillo, N.; Monroy, C.; Diotaiuti, L. Chagas disease in the context of the 2030 agenda: Global warming and vectors. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* **2022**, *117*, e200479.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Nossos resultados demonstram que tanto as espécies alopátricas quanto as simpátricas da tribo Rhodiniini produzem híbridos em condições de laboratório, o que pode ser um fator preocupante em curto prazo diante das mudanças climáticas e ambientais, sendo necessário intensificar os sistemas de controle e vigilância contínua dos triatomíneos, uma vez que os híbridos podem ser potenciais vetores do *T. cruzi*, inclusive, mais eficientes que os parentais (sendo necessários novos estudos que avaliem a capacidade e competência vetorial desses híbridos).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALOS, J.W. Sobre híbridos naturales y experimentales de *Triatoma*. **Anais do Instituto Regional**, v. 2, p. 209-223, 1948.

ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J.; GARCIA, A.C.C.; CRISTAL, D.; DELGADO, L.M.G.; BITTINELLI, I.F.; REIS, Y.V.; RAVAZI, A.; OLIVEIRA, A.B.B.; GALVÃO, C.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; MADEIRA, F.F. *Triatoma rosai* sp. nov. (Hemiptera, Triatominae): A New Species of Argentinian Chagas Disease Vector Described Based on Integrative Taxonomy. **Insects**, v. 11, p. 830, 2020.

ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J.; ROCHA, D.S.; GALVÃO, C. Trends in Taxonomy of Chagas Disease Vectors (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae): From Linnaean to Integrative Taxonomy. **Pathogens**, v. 10, p. 1627, 2021.

CAMPOS-SOTO, R.; PANZERA, F.; PITA, S.; LAGES, C.; SOLARI, A.; BOTTO-MAHAN. Experimental crosses between *Mepraia gajardoi* and *M. spinolai* and hybrid chromosome analyses reveal the occurrence of several isolation mechanisms. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 45, p. 205-212, 2016.

CARVALHEIRO, J.R.; BARRETTO, M.P. Estudos sobre reservatórios e vetores silvestres do *Trypanosoma cruzi*. LX – tentativas de cruzamento de *Rhodnius prolixus* Stal, 1859 com *Rhodnius*

neglectus Lent, 1954 (Hemiptera, Reduviidae). **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 18, p. 17-23, 1976.

CERQUEIRA, R.L. **Estudos sobre populações de triatomíneos silvestres encontrado em Santo Inácio – Bahia**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 68p, 1982.

CESARETTO, N.R.; OLIVEIRA, J.; RAVAZI, A.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; VICENTE, R.D.; CRISTAL, D.C.; GALVÃO, C.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Trends in taxonomy of Triatomini (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae): reproductive compatibility reinforces the synonymization of *Meccus* Stål, 1859 with *Triatoma* Laporte, 1832. **Parasites & Vectors**, v. 14, p. 340, 2021.

CHUNCO, A.J. Hybridization in a warmer world. **Ecology Evolution**, v. 4, p. 2019-2031, 2014.

CORRÊA, R.R.; ESPÍNOLA, H. Descrição de *Triatoma maculata*, nova espécie de triatomíneo de Sobral, Ceará (Hemiptera, Reduviidae). **Arquivos de Higiene e Saúde Pública**, v. 29, p. 115-127, 1964.

CORREIA, J.P.S.O.; GIL-SANTANA, H.R.; DALE, C.; GALVÃO C. *Triatoma guazu* Lent and Wygodzinsky Is a Junior Synonym of *Triatoma williamsi* Galvão, Souza and Lima. **Insects**, v. 13, p. 591, 2022.

CORREIA, N.; ALMEIDA, C.E.; LIMA-NEIVA, V.; GUMIEL, M.; LIMA, M.M.; MEDEIROS, L.M.O.; MENDONÇA, V.J.; ROSA, J.A.; COSTA, J. Crossing experiments confirm *T. sherlocki* as a member of the *Triatoma brasiliensis* species complex. **Acta Tropica**, v. 128, p. 162-167, 2013.

COSTA, J.; ALMEIDA, C.E.; DUJARDIN, J.P.; BEARD, C.B. Crossing experiments detect genetic incompatibility among populations of *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911 (Heteroptera, Reduviidae, Triatominae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 98, p. 637-639, 2003.

COSTA, J.; PETERSON, A.T.; DUJARDIN, J.P. Morphological evidence suggests homoploid hybridization as a possible mode of speciation in the Triatominae (Hemiptera, Heteroptera, Reduviidae). **Infection, Genetics and Evolution**, v. 9, p. 263-270, 2009.

DELGADO, L.M.G.; OLIVEIRA, J.; RAVAZI, A.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.; PINOTTI, H.; OLIVEIRA, A.B.B.; MASARIN, I.S.; LILIOSO, M.; FOLLY-RAMOS, E.; GALVÃO, C.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Revisiting the Hybridization Processes in the *Triatoma brasiliensis* Complex (Hemiptera, Triatominae): Reproductive Isolation between *Triatoma petrocchiae* and *T. b. brasiliensis* and *T. lenti*. **Insects**, v. 12, p. 1015, 2021.

DIAS, F.B.S.; JARAMILLO, N.; DIOTAIUTI, L. Description and characterization of the melanic morphotype of *Rhodnius nasutus* Stål, 1859 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 47, p. 637-641, 2014.

DÍAZ, S., PANZERA, F., JARAMILLO-O, N.; PÉREZ, R.; FERNÁNDEZ, R.; VALLEJO, G.; SALDAÑA, A.; CALZADA, J.E.; TRIANA, O.; GÓMEZ-PALÁCIO, A. Genetic, Cytogenetic and Morphological Trends in the Evolution of the *Rhodnius* (Triatominae: Rhodniini) Trans-Andean Group. **PLoS ONE**, v. 9, p. e87493, 2014.

DOBZHANSKY, T. A critique of the species concept in biology. **Philosophy of Science**, v. 2, p. 344-355, 1935.

ESPÍNOLA, H.N. Reproductive isolation between *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911 and *Triatoma petrochii* Pinto & Barretto, 1925 (Hemiptera Reduviidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 31, p. 277-281, 1971.

FRANCA-RODRÍGUEZ, M.E.; YONG, D.G.; LOZANO, M. Estudio sobre los descendientes entre *Triatoma infestans* (Klug, 1834) y *Triatoma rubrovaria* (Blanchard, 1843, (Hemiptera, Reduviidae). **Revista de Biología do Uruguay**, v. 7, p. 101-115, 1979.

GALÍNDEZ, G.I.; BARAZARTE, R.; MÁRQUEZ, J.; OVIEDO, M.; MÁRQUEZ, Y.; MORÓN, L.; CARCAVALLO, R.U. Relaciones reproductivas entre *Rhodnius prolixus* Stal y *Rhodnius robustus* Larrousse (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) bajo condiciones de laboratorio. **Entomología y Vectores**, v. 1, p. 3-13, 1994.

GARROWAY, C.J.; BOWMAN, J.; CASCADEN, T.J.; HOLLOWAY, G.L.; MAHAN, C.G.; MALCOLM, J.R. Climate change induced hybridization in flying squirrels. **Global Change Biology**, v. 16, p. 1130121, 2010.

GIL-SANTANA, H.R.; CHAVEZ, T.; PITA, S.; PANZERA, F.; GALVÃO, C. *Panstrongylus noireai*, a remarkable new species of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) from Bolivia. **ZooKeys**, v. 1104, p. 203-225, 2022.

HEITZMANN-FONTENELLE, T. Bionomia comparativa de triatomíneos. VI - Híbridos de *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911 x *Triatoma lenti*, Sherlocki & Serafim, 1967 (Hemiptera, Reduviidae). **Memórias do Instituto Butantan**, v. 47, p. 175-181, 1984.

KARDOL, P.; CAMPANY, C.E.; SOUZA, L.; NORBY, R.J.; WELTZIN, J.F.; CLASSEN, A.T. Climate change effects on plant biomass alter dominance patterns and community evenness in an experimental old-field ecosystem. **Global Change Biology**, v. 16, p. 2676-2687, 2010.

KIMURA, M.R.; MUNEHARA, H. The disruption of habitat isolation among three *Hexagrammos* species by artificial habitat alterations that create mosaic-habitat. **Ecology Research**, v. 25, p. 41-50, 2010.

MADEIRA, F.F.; DELGADO, L.M.G.; BITTINELLI, I.F.; OLIVEIRA, J.; RAVAZI, A.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; CRISTAL, D.C.; GALVAO, C.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. *Triatoma sordida* (Stål, 1859) from La Paz, Bolivia (Hemiptera, Triatominae): an incipient species or an intraspecific chromosomal polymorphism?. **Parasites & Vectors**, v. 14, p. 553, 2021.

MARTÍNEZ-IBARRA, J.A., VENTURA-RODRÍGUEZ, L.V.; MEILLON-ISAIS, K.; BARAJAS-MARTÍNEZ, H.; ALEJANDRE-AGUILAR, R.; LUPERCIOCORONEL, P.; ROCHA-CHÁVEZ, G.; NOGUEDA-TORRES, B. Biological and genetic aspects of experimental hybrids from species of the *Phyllosoma* complex (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 103, p. 236-243, 2008.

MARTÍNEZ-IBARRA, J.A.; MORALES-CORONA, Z.Y.; MORENO-RUIZ, M.G.; DEL RIEGO-RUIZ, R.; MUNDO-BARAJAS, M.A. Híbridos naturales y fértiles entre especies del complejo *Meccus phyllosomus* (Hemiptera: Reduviidae) en Jalisco, México. **Entomological Society of Mexico**, v. 4, p. 734-738, 2005.

MARTÍNEZ-IBARRA, J.A.; NOGUEDA-TORRES, B.; GARCÍA-LIN, J.C.; ARROYO-REYS, D.; SALAZAR-MONTAÑO, L.F.; HERNÁNDEZ-NAVARRO, J.A.; DÍAZ-SNCHES, C.G.;

TORO-ARREOLA, E.S.; ROCHA-CHÁVEZ, G. Importance of Hybrids of *Meccus phyllosomus mazzottii*, and *M. p. pallidipennis*, and *M. p. phyllosomus* to the Transmission of *Trypanosoma cruzi* in Mexico. **Japanese Journal of Infectious Diseases**, v. 69, p. 202-206, 2016b.

MARTÍNEZ-IBARRA, J.A.; NOGUEDA-TORRES, B.; SALAZAR-SCHETTINO, P.M.; CABRERA-BRAVO, M.; VENCES-BLANCO, M.O.; ROCHA-CHAVEZ, G. Transmission Capacity of *Trypanosoma cruzi* (Trypanosomatida: Trypanosomatidae) by Three Subspecies of *Meccus phyllosomus* (Heteroptera: Reduviidae) and Their Hybrids. **Medical and Veterinary Entomological**, v. 53, p. 928-934, 2016a.

MARTÍNEZ-IBARRA, J.A.; GRANT-GUILLÉN, Y.; DELGADILLO-ACEVES, I.N.; ZUMAYA-ESTRADA, F.A.; ROCHA-CHÁVEZ, G.; SALAZAR-SCHETTINO, P.M.; ALEJANDRE-AGUILAR, R.; VILLALOBOS, G.; NOGUEDA-TORRES, B. Biological and genetic aspects of crosses between phylogenetically close species of Mexican Triatomines (Hemiptera: Reduviidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 48, p. 705-707, 2011.

MAYR, E. Animal Species and Evolution. **Harvard University Press**, Cambridge, 1963.

MAZZOTTI, L.; OSORIO, M.T. Resultados obtenidos en cruzamientos con especies diferentes de *Triatoma*. **Revista da Faculdade de Bogotá**, v. 10, p. 159-160, 1941.

MAZZOTTI, L.; OSORIO, M.T. Cruzamientos experimentales entre varias especies de triatomas. **Medicina**, v. 22, p. 215-222, 1942.

MENDONÇA, V.J.; ALEVI, K.C.C.; MEDEIROS, L.M.O.; NASCIMENTO, J.D.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A. Cytogenetic and morphologic approaches of hybrids from experimental crosses between *Triatoma lenti* Sherlock & Serafim, 1967 and *T. sherlocki* Papa et al., 2002 (Hemiptera: Reduviidae). **Infection, Genetics and Evolution**, v. 26, p. 123-131, 2014.

MENDONÇA, V.J.; ALEVI, K.C.C.; PINOTTI, H.; GURGEL-GONGALVES, R.; PITA, S.; GUERRA, A.L.; PANZERA, F.; ARAÚJO, R.F.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A. Revalidation of *Triatoma bahiensis* Sherlock & Serafim, 1967 (Hemiptera: Reduviidae) and phylogeny of the *T. brasiliensis* species complex. **Zootaxa**, v. 4107, p. 239-254, 2016.

NASCIMENTO, J.D.; ROSA, J.A.; SALGADO-ROA, F.C.; HERNÁNDEZ, C.; PARDO-DIAZ, C.; ALEVI, K.C.C.; RAVAZI, A.; OLIVEIRA, J.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; SALAZAR, C.; RAMIREZ, J.D. Taxonomical over splitting in the **Rhodnius prolixus** (Insecta: Hemiptera: Reduviidae) clade: Are **R. taquarussuensis** (da Rosa et al., 2017) and **R. neglectus** (Lent, 1954) the same species? **PLoS ONE**, v. 14, p. e0211285, 2019.

NEVES, J.M.S.; SOUSA, P.S.; OLIVEIRA, J.; RAVAZI, A.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; PINOTTI, H.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Prezygotic isolation confirms the exclusion of *Triatoma melanocephala*, *T. vitticeps* and *T. tibiamaculata* of the *T. brasiliensis* subcomplex (Hemiptera, Triatominae). **Infection Genetics and Evolution**, v. 79, p. 104149, 2020.

PÉREZ, R.; HERNÁNDEZ, M.; QUINTERO, O.; SCVORTZOFF, E.; CANALE, D.; MÉNDEZ, L.; COHANOFF, C.; MARTINO, M.; PANZERA, F. Cytogenetic analysis of experimental hybrids in species of Triatominae (Hemiptera-Reduviidae). **Genetica**, v. 125, p. 261-270, 2005.

PINOTTI, H.; ALEVI, K.C.C.; OLIVEIRA, J.; RAVAZI, A.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A. Segregation of phenotypic characteristics in hybrids of *Triatoma brasiliensis* species complex (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). **Infection Genetics and Evolution**, v. 91, p. 104798, 2021a.

PINOTTI, H.; OLIVEIRA, J.; RAVAZI, A.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Revisiting the hybridization processes in the *Triatoma brasiliensis* complex (Hemiptera, Triatominae): interspecific genomic compatibility point to a possible recent diversification of the species grouped in this monophyletic complex. **PLoS One**, v. 16, p. e0257992, 2021b.

RAVAZI, A. **Estudo sobre hibridização na tribo Rhodniini (Hemiptera, Reduviidae): dinâmica evolutiva, viabilidade reprodutiva, caracterização morfo-molecular e suas implicações taxonômicas**. 2019. 67 p. Dissertação (Mestrado em Biociências) - IBILCE/UNESP, 2019.

RAVAZI, A.; OLIVEIRA, J.; CAMPOS, F.F.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.; OLIVEIRA, A.B.B.; AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Trends in evolution of the Rhodniini tribe (Hemiptera, Triatominae): experimental crosses between *Psammolestes tertius* Lent

& Jurberg, 1965 and *P. coreodes* Bergroth, 1911 and analysis of the reproductive isolating mechanisms. **Parasites & Vectors**, v. 14, p. 350, 2021.

RAVAZI, A.; OLIVEIRA, J.D.; MADEIRA, F.F.; REIS, Y.V.D.; OLIVEIRA, A.B.B.; GALVÃO, C., AZEREDO-OLIVEIRA, M.T.V.; ROSA, J.A.; ALEVI, K.C.C. Trends in Taxonomy of the Rhodniini Tribe (Hemiptera, Triatominae): Reproductive Incompatibility between *Rhodnius neglectus* Lent, 1954 and *Psammolestes* spp. Confirms the Generic Status of *Psammolestes* Bergroth, 1911. **Diversity**, v. 14, p. 761, 2022.

RHYMER, J.M.; SIMBERLOFF, D. Extinction by hybridization and introgression. **Annual Review Ecology, Evolution and Systematic**, v. 27, p. 83-109, 1966.

RYCKMAN, R.E. Biosystematics and hosts of the *Triatoma protracta* complex in North América (Hemiptera: Reduviidae) (Rodentia: Cricetidae). **University California Public Entomology**, v. 27, p. 93-240, 1962.

SCHEREIBER, G.; PINHO, A.C.; PARENTONI, R.; SALGADO, A.A.; GODOI-JR, T.L. Cytogenetics of Triatominae: II Spermatogenesis in hybrid between *Triatoma infestans* and *Triatoma pseudomaculata* (Hemiptera, Reduviidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 31, p. 1-9, 1974.

UESHIMA, N. Cytotaxonomy of the Triatominae (Reduviidae, Hemiptera). **Chromosoma**, v. 18, p. 97-122, 1966.

USINGER, R.L. The Triatominae of North and Central America and the West Indies and their Public Health Significance. **Public Health Bulletin**, 1944.

USINGER, R.L.; WYGODZINSKY, P.; RYCKMAN, E.R. The biosystematics of Triatominae. **Annual Review of Entomology**, v. 11, p. 309-329, 1966.

VISSER, M.E.; BOTH, C. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 272, p. 2561-2569, 2005.

WALTERS, D.M.; BLUM, M.J.; RASHLEIGH, B.; FREEMAN, B.J.; PORTER, B.A.; BURKHEAD, N.M. Red shiner invasion and hybridization with blacktail shiner in the upper coosa river, USA. **Biological Invasions**, v. 10, p. 1229-1242, 2008.

WELLENREUTHER, M.; TYNKKYNEN, K.; SVENSSON, E.I. Simulating range expansion: male species recognition and loss of premating isolation in damselflies. **Evolution**, v. 64, p. 242-252, 2010.

WIEGAND, K.M. A taxonomist's experience with hybrids in the wild. **Science**, v. 81, p. 161-166, 1935.

WILLIAMS, J.W.; JACKSON, S.T. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, p. 475-482, 2007.

WHO- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chagas disease (American trypanosomiasis)**. 2022. Disponível em: [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-\(american-trypanosomiasis\)](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis)). Acesso em 25 de junho de 2022.

YANG, H.; WU, M.; LIU, W.; ZHANG, Z.; ZHANG, N.; WAN, S. Community structure and composition in response to climate change in a temperate steppe. **Global Change Biology**, v. 17, p. 452-465, 2011.

ZHAO, Y.; GALVÃO, C.; CAI, W. *Rhodnius micki*, a new species of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) from Bolivia. **ZooKeys**, v. 12, p. 71–93, 2021.