

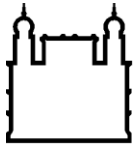
**MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
INSTITUTO OSWALDO CRUZ**

Programa de Pós-Graduação em Biologia Parasitária

**Aspectos populacionais de *Triatoma sordida* (Hemiptera,
Reduviidae, Triatominae) no peridomicílio
de uma habitação rural no município de Posse - GO, Brasil**

EDSON SANTOS DANTAS

RIO DE JANEIRO
Fevereiro de 2018



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ
Programa de Pós-Graduação em Biologia Parasitária

EDSON SANTOS DANTAS

Aspectos populacionais de *Triatoma sordida* (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) no peridomicílio de uma habitação rural no município de Posse - GO, Brasil.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Parasitária do Instituto Oswaldo Cruz como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadores: Prof. Dr. Fernando Araujo Monteiro
Prof. Dr. Rafael Maciel de Freitas

RIO DE JANEIRO

Fevereiro de 2018

Dantas, Edson Santos .

Aspectos populacionais de *Triatoma sordida* (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) no peridomicílio de uma habitação rural no município de Posse - GO, Brasil. / Edson Santos Dantas. - Rio de Janeiro, 2018.

111 f.

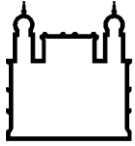
Tese (Doutorado) - Instituto Oswaldo Cruz, Pós-Graduação em Biologia Parasitária, 2018.

Orientador: Fernando Araujo Monteiro.

Co-orientador: Rafael Maciel de Freitas.

Bibliografia: Inclui Bibliografias.

1. *Triatoma sordida*. 2. Dispersão. 3. Doença de Chagas. 4. Triatomíneos. 5. Saúde Pública. I. Título.



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ
Programa de Pós-Graduação em Biologia Parasitária

EDSON SANTOS DANTAS

Aspectos populacionais de *Triatoma sordida* (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) no peridomicílio de uma habitação rural no município de Posse - GO, Brasil

ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. Fernando Araujo Monteiro
Prof. Dr. Rafael Maciel de Freitas

Aprovada em: 21/02/2018

EXAMINADORES:

Dr. Cleber Galvão – Presidente e revisor

FIOCRUZ / Instituto Oswaldo Cruz / Laboratório Nacional e Internacional de Referência em Taxonomia de Triatomíneos.

Dra. Marli Maria Lima – Membro da banca examinadora

FIOCRUZ / Instituto Oswaldo Cruz / Laboratório de Ecoepidemiologia da Doença de Chagas.

Dra. Camila de Barros – Membro da banca examinadora

Universidade Federal do Rio de Janeiro / Laboratório de vertebrados / Departamento de Ecologia.

Dr. Marcio Felix – 1º Suplente da banca examinadora

FIOCRUZ / Instituto Oswaldo Cruz / Laboratório de Biodiversidade Entomológica

Dr. Anderson Vasconcellos – 2º Suplente da banca examinadora

Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Departamento de Genética

Dedico esse trabalho à minha família, em especial, ao meu querido sogro, amigo e mentor Aldir Gomes Selles. Sem você nada seria possível. Que você esteja descansando em paz. Obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus amigos e mestres, Dr. Fernando Monteiro e Dr. Rafael Maciel de Freitas, pela oportunidade e pela confiança no meu trabalho. Pelos momentos de descontração que tornaram mais fáceis transpor as adversidades do dia a dia. Pelos conselhos, paciência e puxões de orelha necessários quando eu me encontrava fora da curva. Todos os dias em que estivemos juntos eu aprendi algo novo e de muita valia. Tenho muito carinho e admiração por vocês. Espero levar a amizade que construímos ao longo dessa jornada para o resto de minha vida. Deixo aqui os meus sinceros agradecimentos.

À Minha maravilhosa companheira, Beatriz, que me apoiou (e apoia) todo o tempo. Pela sua paciência, carinho, amizade e compreensão nos momentos difíceis que enfrentamos juntos. Te amo!

À minha filha, Elisinha. Uma criança maravilhosa que me trazia seu sorriso sempre que me via cabisbaixo e preocupado. Como foi difícil dizer “Não” para as vezes em que me chamava para brincar. Obrigado por tudo, meu anjo.

Aos meu pais, em especial à minha Mãe, Lucia. Uma guerreira que está do nosso lado à todo momento.

À minha irmã, Elaine, pelo seu abraço carinhoso e pelo amor à mim retribuído.

À minha sogra, Maria Aparecida, que está sempre presente com sua alegria contagiante. Ao meu querido sogro, que já não está entre nós, mas enquanto esteve foi a melhor pessoa com quem tive o prazer de conviver e contribuiu significativamente para essa e muitas outras conquistas na minha vida profissional. Amo todos vocês.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho no Laboratório de Mosquitos Transmissores de Hematozoários, que sempre alegam meu dia. Todos estão sempre dispostos a ajudar, seja com o trabalho físico ou com a troca de informações. E aqui faço um agradecimento especial ao Dr. Ricardo Lourenço, pela oportunidade que me foi dada, ainda em 2008, quando iniciei meus estudos na Fundação. Muito obrigado à todos.

Aos amigos do Laboratório de Sistemática e Epidemiologia Molecular, que apesar dos poucos encontros, sempre foram muito solícitos e companheiros. Agradeço à Jéssica Corrêa, Beatriz Coronato e Andreia Lima, pelas conversas e alguns ensinamentos em Biologia Molecular.

Ao Laboratório de Desenvolvimento Analítico (LaDA), em especial à Dra. Aline Freire, pelas análises dos estratos dos barbeiros nos experimentos com ninfas.

Ao Dr. Daniel Villela pelo suporte matemático, pelas ideias de análises dos dados e elaboração dos modelos.

À Carolina Dale, do Laboratório Nacional e Internacional de Referência em Taxonomia de Triatomíneos, Instituto Oswaldo Cruz, pelo treinamento para identificação dos espécimes coletados em campo.

Ao Gabriel Sylvestre, Gabriela de Azambuja e Mariana David, pela companhia nas viagens até Posse - GO. Pelos nossos momentos dentro e fora do laboratório, sempre com muita alegria. Obrigado pelo constante carinho e apoio.

Aos integrantes do Laboratório de Parasitologia Médica e Biologia de Vetores da Universidade de Brasília (UnB), em especial ao Dr. Rodrigo Gurgel Gonçalves, por ceder o insetário para que pudéssemos manter a colônia de triatomíneos. Pela manutenção dos espécimes. Pelas horas de conversas com dicas valiosas.

À Secretaria de Saúde de Posse, em especial ao coordenador do Controle de Endemias, Sr. Luis Carlos Nascimento, por toda a logística. Aos técnicos Odeswaldo e Mario por toda a assistência no campo durante as coletas.

Ao Dr. Cleber Galvão pela revisão criteriosa e minuciosa desta tese, e pelas sugestões relevantes que trouxeram melhorias para a redação desta tese.

Aos demais membros da banca examinadora, Dra. Marli Maria Lima, Dra. Camila dos Santos Barros, Dr. Márcio Eduardo Félix e Dr. Anderson Vilasboa de Vasconcellos, por terem aceitado o convite. Desde já agradeço à todos vocês por participarem desse momento importante na minha formação acadêmica.

À música, presente em minha vida desde muito cedo. Tocar na noite me traz muita calma e diversos momentos de reflexão. E falando de música não posso deixar de citar meus irmãos de bandas e de vida: David Sipriano (o irmão que a vida escolheu pra mim), Rodrigo Fontenelle, Cristian Barbosa e Renato Massa.

Aos meus mais que queridos amigos, Leandro e Fernanda Quintão. Vocês são a nossa família do coração e sempre estão presentes quando precisamos. Amo vocês.

À coordenação da Pós-Graduação em Biologia Parasitária por financiar as viagens iniciais ao Município de Posse - GO.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo suporte financeiro, com bolsas e insumos, durante toda a execução do projeto.

“Se a tendência é piorar, você ainda está muito bem.”

Falcão



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ

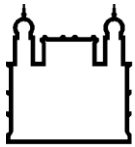
Aspectos populacionais de *Triatoma sordida* no peridomicílio de uma habitação rural no município de Posse - GO, Brasil

RESUMO

TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA PARASITÁRIA

Edson Santos Dantas

A doença de Chagas, ou tripanosomíase americana, é uma doença tropical negligenciada importante, e é causada pelo protozoário flagelado *Trypanosoma cruzi*, que é transmitido principalmente aos seres humanos por insetos hematófagos da subfamília Triatominae. Embora o conhecimento sobre a capacidade de movimentação de triatomíneos, em uma escala micro-geográfica, seja de importância fundamental no que diz respeito ao desenvolvimento de estratégias eficazes de controle vetorial, este assunto continua a ser pouco explorado e compreendido. Além disso, as taxas de sobrevivência e as estimativas de tamanho das populações naturais são temas importantes à ser considerados quando se avalia a intensidade da transmissão. A movimentação de adultos de *Triatoma sordida*, dentro de uma área peridomiciliar de uma habitação rural brasileira, foi avaliado através de ensaios de marcação-soltura-recaptura. Um total de 210 insetos tiveram a sua pronota marcada com pós fluorescentes e foram liberados a diferentes distâncias do galinheiro (dois, cinco, dez e 20 m), e do curral de cavalo (27, 32, 35, 46 e 56 m). A recaptura dos insetos ocorreu em três intervalos consecutivos de 15 dias. Os espécimes foram recapturados com sucesso em todas as distâncias até 32 m. Os modelos bayesianos foram utilizados para estimar a probabilidade de recaptura, as taxas de sobrevivência (machos versus fêmeas) e tamanho da população. Embora a probabilidade de recaptura fosse inversamente proporcional à distância para ambos os sexos, as fêmeas foram mais afetadas pelo aumento da distância. Por outro lado, não houve diferença significativa detectada nas taxas de sobrevivência entre machos e fêmeas em um período de 15 dias. Os modelos Bayesianos e Fisher-Ford estimaram o tamanho da população de maneira mais precisa do que o método de Lincoln. Os adultos de *T. sordida* conseguiram cobrir uma distância de 32 m em 45 dias. A modelagem dos dados de recaptura revelou que a dispersão masculina foi mais efetiva, sugerindo que os machos de *T. sordida* são mais propensos a contribuir como potenciais colonizadores do ambiente peridomiciliar. Aumentando a distância entre os anexos peridomiciliares e o ambiente silvestre tanto quanto possível, parece ser uma recomendação simples e viável para reduzir a taxa de contato entre humanos e insetos infectados e, finalmente, o risco de transmissão da doença de Chagas.



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

INSTITUTO OSWALDO CRUZ

Population aspects of *Triatoma sordida* in the peridomicile of a rural household in the municipality of Posse - GO, Brasil.

ABSTRACT

PhD THESIS IN BIOLOGIA PARASITÁRIA

Edson Santos Dantas

Chagas disease, or American trypanosomiasis, is an important neglected tropical illness caused by the flagellate protozoan *Trypanosoma cruzi*, which is primarily transmitted to humans by hematophagous insects of the subfamily Triatominae. Although knowledge on triatomine movement capabilities at the micro-geographical scale is of fundamental importance concerning the development of effective vector control strategies, it remains a poorly understood subject. Furthermore, survival rates and size estimates of natural populations are important topics to consider when evaluating transmission intensity. The movement of adult *Triatoma sordida* within the peridomestic area of a rural Brazilian household was evaluated via mark-release-recapture assays. A total of 210 insects had their pronota marked with fluorescent dyes and were released at different distances from the chicken coop (two, five, ten and 20 m), and from the horse corral (27, 32, 35, 46 and 56 m). Recaptures occurred in three consecutive 15-day intervals. Specimens were successfully recaptured at all distances up to 32 m. Bayesian models were used to estimate recapture probability, survival rates (males vs females) and population size. Although recapture probability was inversely proportional to distance for both sexes, females were more affected by increased distance. On the other hand, no significant difference was detected in the survival rates between males and females in a 15-day period. Fisher-Ford and Bayesian models gave more accurate population size estimates than Lincoln method. *Triatoma sordida* adults were able to cover a distance of 32 m in 45 days. Recapture data modeling reveals that male dispersal was more effective suggesting that *T. sordida* males are more likely to contribute as potential colonizers of the peridomestic environment. Increasing the distance between the peridomestic structures and the sylvatic environment as much as possible appears to be a simple and feasible recommendation to reduce the contact rate between humans and infected bugs and ultimately Chagas disease transmission.

ÍNDICE

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Doenças tropicais negligenciadas e a doença de Chagas	16
1.1.1. Agente etiológico da DC e sua transmissão	18
1.1.2. Epidemiologia da DCH com atenção à situação brasileira	21
1.2. Vetores da DCH: Ecologia e biologia	23
1.2.1. Distribuição geográfica	24
1.2.2. Ciclo de vida	25
1.2.3. Habitat	27
1.2.4. Adquirindo a infecção	28
1.2.5. Risco local de transmissão: contato entre insetos e humanos	29
1.2.6. Principais espécies vetoras no Brasil	30
1.2.6.1. <i>Triatoma infestans</i>	31
1.2.6.2. <i>Panstrongylus megistus</i>	32
1.2.6.3. <i>Triatoma brasiliensis</i>	33
1.2.6.4. <i>Triatoma pseudomaculata</i>	35
1.2.6.5. <i>Triatoma sordida</i>	35
1.3. Controle da doença de Chagas no Brasil: situação atual	36
1.4. Triatomíneos não domiciliados: vigilância constante	38
1.4.1. Mecanismos de dispersão dos triatomíneos	40
1.4.2. Necessidade de estudos ecológicos	41
1.4.2.1 Revisitando o passado: Marcação-Soltura-Recaptura	42
1.5. Breve relato sobre a situação atual da DCH no município de Posse - GO: local onde o estudo foi realizado	44
2. JUSTIFICATIVA	46
3. OBJETIVOS	48
3.1. Objetivo Geral	48
3.2. Objetivos específicos	48
4. Capítulo 1 - Avaliação da movimentação de insetos adultos de <i>T. sordida</i> em área peridomiciliar através de experimentos de Marcação Soltura e Recaptura	49
4.1. Justificativa	49
4.2. Materiais e Métodos	50
4.3 Resultados	63
4.4 Discussão	70

4.5. Artigo submetido e aceito na Parasite & Vectors	77
5. CONCLUSÃO	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
7. ANEXO 1	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Observação de diferentes amostras de tripomastigotas, demonstrando suas variações morfológicas. A) Formas delgadas coletadas em amostra sanguínea de um paciente humano (o paciente era a menina Berenice, primeiro caso humano da DC descrito por Carlos Chagas); B) formas largas coletadas de amostras humanas coletadas através de xenodiagnóstico; C) Formas muito larga coletadas em amostras de fezes de triatomíneos.....	20
Figura 2. Ciclo de vida dos triatomíneos: fases que vão da eclosão do ovo (1), passando pelas instares larvais (2-6) ao indivíduo adulto (7)	26
Figura 3. Triatomíneo do gênero <i>Rhodnius</i> se alimentando e defecando no hospedeiro	29
Figura 4. As cinco espécies de triatomíneo consideradas importantes vetores em território brasileiro	31
Figura 5. Localização do município de Posse dentro do Estado de Goiás: Região Centro-oeste do Brasil	51
Figura 6. Típica casa de pau-a-pique comumente encontrada nas áreas rurais do município de Posse – GO, Brasil	52
Figura 7. Anexos peridomiciliares comuns nas casas da zona rural de Posse – GO, Brasil: A) galinheiro; B) curral; C) chiqueiro; D) depósito; são usados para estocar materiais diversos, como por exemplo grãos (milho e feijão), feno e material de trabalho no campo	52
Figura 8. Novas casas entregues para os moradores de Posse – GO como parte do Programa Nacional de Combate a Doenças de Chagas PCDCh	53
Figura 9. Indicação das nove localidades onde foram realizadas as coletas. Circulado em vermelho está o centro urbano da cidade de Posse	54
Figura 10. Processo de pintura do pronoto dos triatomíneos utilizando nossa pasta fluorescente e um pequeno pincel: diferentes cores foram usadas para determinar as datas e pontos de soltura.....	56
Figura 11. Desenho esquemático da área de estudo, com os pontos de soltura, estruturas peridomiciliares presentes e distâncias testadas. Evento I: triatomíneos foram marcados e liberados à diferentes distâncias do GAL/CUR (azul 2/35m; laranja 5/32m; e verde 10/27	57
Figura 12. Desenho esquemático da área de estudo, com os pontos de soltura, estruturas peridomiciliares presentes e distâncias testadas. Evento I: triatomíneos foram marcados e liberados à diferentes distâncias do GAL/CUR (azul 2/35m; laranja 5/32m; e verde 10/27m).	

Evento II: Indivíduos receberam uma marcação roxa e foram liberados à 10/46m de distância do GAL/CUR.	58
Figura 13. Desenho esquemático da área de estudo, com os pontos de soltura, estruturas peridomiciliares presentes e distâncias testadas. Evento I: triatomíneos foram marcados e liberados à diferentes distâncias do GAL/CUR (azul 2/35m; laranja 5/32m; e verde 10/27m). Evento II: Indivíduos receberam uma marcação roxa e foram liberados à 10/46m de distância do GAL/CUR. Evento III: Neste momento os insetos receberam uma marcação rosa e foram liberados à 20/56m de distância do GAL/CUR	59
Figura 14. <i>Triatoma sordida</i> com marcação rosa liberado capturado no galinheiro na manhã do 45º dia. Circulado em amarelo está o tijolo no qual o inseto na foto foi encontrado. O tijolo estava no interior do galinheiro avaliado durante o estudo	60
Figura 15. Modelos Bayesianos: A) Probabilidade de captura no galinheiro/curral para machos e fêmeas (Modelo MSL); B) Efeito da distância entre os pontos de soltura e recaptura sobre a probabilidade de <i>T. sordida</i> alcançar uma das estruturas peridomiciliares (Modelo MS); C) Probabilidade de sobrevivência de machos e fêmeas para 3 períodos de 15 dias (Modelo MS)	67
Figura 16. Chance dos espécimes adultos de <i>T. sordida</i> alcançarem qualquer uma das duas estruturas peridomiciliares (galinheiro – GAL ou curral – CUR) considerando as diferentes distâncias	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número de anexos visitados e espécimes de <i>T. sordida</i> coletados em nove localidades dentro do município de Posse - GO, Brasil, entre os meses de abril e maio de 2014.....	63
Tabela 2. Identificação das marcações e o número de adultos de <i>T. sordida</i> usados em três experimentos de MSR com respeito as distâncias de soltura para o galinheiro (GAL) e curral (CUR) realizadas dentro de um período de 45 dias.....	65
Tabela 3. Abundância relativa de <i>Triatoma sordida</i> com base em um modelo Bayesiano (MS) e métodos determinísticos de Fisher-Ford e Lincoln	69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CUR	curral
DC	doença de Chagas
DCA	doença de Chagas aguda
DCH	doença de Chagas humana
GAL	galinheiro
ICS	Iniciativa do Cone Sul
MSR	Marcação-soltura-recaptura
OMS	Organização Mundial de Saúde

1. INTRODUÇÃO

1.1. Doenças tropicais negligenciadas e a doença de Chagas

As doenças negligenciadas são aquelas causadas por agentes infecciosos ou parasitas, que acometem populações de baixa renda sobretudo em países menos desenvolvidos ou em desenvolvimento, que recebem pouca (ou nenhuma) atenção por parte da gestão pública em saúde nos níveis comunitário, nacional e internacional (OMS 2010; Molyneaux 2010). Estimativas recentes mostram que podem afetar mais de um bilhão de pessoas (incluindo aproximadamente 500 milhões de crianças) nas áreas endêmicas (OMS 2007, 2010). O impacto de doenças negligenciadas pode incidir diretamente em indivíduos, grupos familiares e até mesmo comunidades, podendo se manifestar em termos de número de casos da doença, perda de produtividade, agravamento da pobreza e aumento no custo dos cuidados de longa duração (OMS 2007).

Quatro das dezessete enfermidades inseridas neste contexto são causadas por patógenos cujos vetores são insetos hematófagos e estão presentes na América Latina – doença de Chagas, dengue, filariose e malária. Dentre essas, a doença de Chagas (DC) se destaca por apresentar um conjunto de fatores que dificulta seu controle nas Regiões onde é endêmica. A existência de reservatórios vertebrados com diferentes hábitos ecológicos que contribuem para a manutenção do parasito na natureza, além de um grande número de espécies capazes de transmitir o parasito, dificultam as ações de controle baseadas exclusivamente no vetor. Visto que até o momento ainda não existe vacina e tampouco tratamento com evolução para a cura nos casos crônicos desse agravo, o controle efetivo da doença tem se mostrado um grande desafio tanto para gestores em saúde pública como para a comunidade científica. Por isso, assim como para outras doenças negligenciadas, abordagens integradas de controle vetorial vêm ganhando força (Coura & Dias 2009; Sosa-Estani & Segura 2015; Dias et al. 2016).

A doença de Chagas (DC), ou Tripanossomíase Americana, é uma doença infecciosa (com fases aguda e crônica) tropical importante. A DC foi descoberta em 1909 pelo médico sanitário brasileiro Carlos Chagas, que descreveu o ciclo da doença envolvendo o parasito, hospedeiro vertebrado e o vetor. Esse agravo assola todo o continente americano, desde o sul dos Estados Unidos até a Argentina e o Chile (Rey 2001).

No início dos anos 90, países do sul da América do Sul com altos índices de endemicidade resolveram aliar seus esforços no combate à DC, levando à criação da Iniciativa do Cone Sul (ICS), integrada pela Argentina, Brasil, Bolívia, Chile, Paraguai e Uruguai (Schofield & Dias 1999; OMS 2002). A ICS apoiada pela Organização Pan-Americana de Saúde e a Organização Mundial de Saúde (OMS), teve como objetivo a interrupção da transmissão vetorial pelo *T. infestans* e o controle da transmissão por transfusão de sangue. O sucesso alcançado pela ICS serviu de incentivo para a criação de outras iniciativas, mais precisamente em 1997, com a Iniciativa dos Países Andinos e Iniciativa dos Países da América Central, e em 2005 com a Iniciativa dos Países da Região Amazônica (OMS 2008). Desde então tem-se conquistado grandes resultados através do controle vetorial e da vigilância dos bancos de sangue, mas com alguma variação na eficiência entre os países envolvidos.

A OMS, baseando-se em dados do ano de 2010, estimou que o número de indivíduos infectados na América Latina seja de aproximadamente 6 milhões de pessoas, com 70 milhões vivendo sob risco de contrair a doença (OMS 2015, Morel & Lazdins 2003). Como consequência, a DC tem causado grande impacto social quando comparada a outras doenças infecciosas e parasitárias (OMS 1991; Schmunis 1999). A partir dos anos 2000, devido ao grande fluxo migratório e consequente ocorrência de casos para além das fronteiras dos países endêmicos, a DC tornou-se prioridade mundial em saúde (Ventura-Garcia et al. 2013).

A doença de Chagas humana (DCH) geralmente ocorre em duas fases. Primeiramente tem início a fase aguda que pode durar de 2 a 3 meses após a infecção pelo *T. cruzi* (Kirchhoff 1999). Apesar de ser comum o aparecimento de febre nesse período (Dias & Coura 1997),

alguns indivíduos podem permanecer assintomáticos. Contudo, estima-se que 5-10% dos infectados podem desenvolver complicações severas ou até fatais (Kirchhoff 1999). Cerca de 40% dos infectados que passam pela fase aguda da doença continuam soropositivos, mas não apresentam progressão na doença, enquanto que os outros 60% entram em uma fase de quiescência que pode durar até 30 anos (Williams-Blangero et al. 2011).

1.1.1 Agente etiológico da DC e sua transmissão

A DC tem como agente etiológico o *Trypanosoma cruzi*, um protozoário flagelado da ordem Kinetoplastida, família Tripanosomatidae, gênero Trypanosoma, que é caracterizado pela existência de um flagelo e de uma única mitocôndria, onde se situa o cinetoplasto – organela especializada contendo o DNA (Lana & Machado 2010). O *T. cruzi* é o único tripanosoma humano transmitido pelas excretas de um vetor invertebrado, e está incluído na seção *Stercoraria* (Dias et al. 2013). As cepas do parasito que circulam na natureza, durante seu ciclo de vida, podem infectar diferentes hospedeiros vertebrados (humanos, animais domésticos e outros mamíferos silvestres) e invertebrados (triatomíneos) e, diante de diversas situações bioecológicas, o *T. cruzi* assume formas evolutivas morfológica e fisiologicamente distintas (Brener 1973). Tais formas evolutivas são identificadas pela posição relativa do cinetoplasto em relação ao núcleo celular e ao surgimento do flagelo, sendo as três formas seguintes as principais: tripomastigota, amastigota e epimastigota (Brener 1997).

- Os tripomastigotas são as formas infectantes, extracelulares de movimentação livre e encontrados no sangue periférico do hospedeiro vertebrado, assim como na porção posterior do tubo digestivo e túbulos de Malpighi dos insetos vetores – nesse caso são denominados de tripomastigotas metacíclicos (Dias et al. 2013). Os tripomastigotas, dependendo da cepa circulante e do hospedeiro, podem variar morfológicamente (Figura 1), e assim são classificados como forma delgada, larga ou muito larga (Brener & Chiari 1963). Os tripomastigotas são as

formas evolutivas que não realizam multiplicação e tem como característica morfológica seu longo flagelo, localizado logo após o núcleo celular (Lana & Machado 2010).

- Os amastigotas possuem um formato arredondado com flagelo curto e se originam de tripomastigotas que acabaram de entrar na célula do mamífero hospedeiro (seja por fagocitose, endocitose ou penetração ativa). Tal diferenciação celular tem como objetivo escapar do sistema imune do hospedeiro (Coura 2011). Os amastigotas são encontrados em diferentes tecidos, tais como fibras musculares esqueléticas, cardíacas e lisas, células do sistema nervoso central e periférico e células do sistema monocítico fagocitário; uma vez no interior dessas células, esta forma evolutiva se multiplica por divisão binária (Junqueira et al. 2011).
- Os epimastigotas estão presentes ao longo do trato digestivo e túbulos de Malpighi do inseto vetor, onde também realizam a divisão binária, ou seja, atuam na fase exponencial de crescimento do parasito (Böker & Schaub 1984; Schaub 1989). Mais tarde, essas formas evolutivas vão se diferenciar em tripomastigotas metacíclicos (formas infectantes), basicamente no reto do vetor, onde serão eliminadas com as fezes (Carvalho-Moreira et al. 2003). Tradicionalmente as provas sorológicas de diagnóstico fazem uso dos antígenos de superfície das formas epimastigotas nas reações de imunofluorescência indireta (Coura 2011).

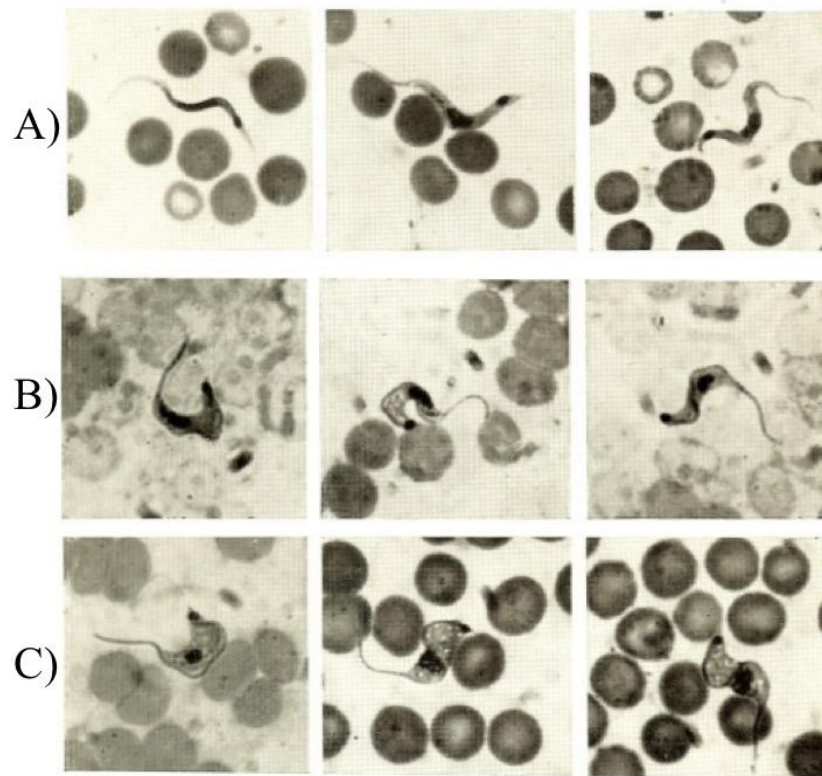


Figura 1. Observação de diferentes amostras de tripomastigotas, demonstrando suas variações morfológicas. A) Formas delgadas coletadas em amostra sanguínea de um paciente humano (o paciente era a menina Berenice, primeiro caso humano da DC descrito por Carlos Chagas); B) formas largas coletadas de amostras humanas coletadas através de xenodiagnóstico; C) Formas muito larga coletadas em amostras de fezes de triatomíneos.

Fonte: Foto adaptada de Brener & Chiari (1963)

O *T. cruzi* é comumente transmitido para humanos através do contato das fezes infectadas de insetos hematófagos da subfamília Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) com a membrana mucosa ou outra solução de continuidade do hospedeiro (Burleigh & Andrews 1995; Bern et al. 2011). A esse modo de infecção dá-se o nome de transmissão vetorial, que nos anos 90 era responsável por cerca de 80% dos casos da doença de Chagas humana (DCH) em áreas endêmicas (Schofield 1994). Essa modalidade de transmissão sempre esteve diretamente relacionada a fatores humanos e sócio econômicos, tais como a qualidade das habitações, ação antrópica sobre o ambiente e migrações humanas (Dias 2001).

Outros modos de transmissão, que tem recebido atenção recentemente, incluem a transfusão de sangue e a ingestão de suco de fruta contaminado (Aguilar et al. 2007; Coura 2015). A primeira é responsável pela disseminação da DCH para países desenvolvidos onde não existe o ciclo de transmissão, tais como Espanha e Japão (Requena-Méndez et al. 2014; Imai et al. 2014), e a segunda tem contribuído para microepidemias de casos agudos em áreas rurais do norte do Brasil (Dias 2016).

Acredita-se que a tripanossomíase, enzootia/epizootia muito antiga esteve sujeita à coevolução com dezenas de espécies de mamíferos e possa ter se caracterizado por apresentar baixa morbi-mortalidade nesses hospedeiros. Por outro lado, em humanos, onde a interação é mais recente, apresenta processos coevolutivos menos desenvolvidos. A DC apresenta mortalidade importante em sua fase aguda e pode resultar em cardiopatia crônica grave em 10 a 40% dos indivíduos infectados (Dias & Coura 1997; Guhl & Aufderheide 2010).

1.1.2. Epidemiologia da DCH com atenção à situação brasileira

A DCH é resultante da ação conjugada de diversos fatores, mas dentre eles, viver em condições socioeconômicas precárias parece ser preponderante (Coura & Dias 2009). A infecção chagásica se expandiu através de populações rurais na América Latina, particularmente no início do século XX (Dias & Schofield 1999). As 150 espécies do inseto capazes de transmitir o *T. cruzi* estão distribuídas no continente americano e, até as primeiras décadas após a descoberta desse agravo, imagina-se que a mesma permaneceu limitada à presença do vetor (OMS 2015).

Em meados do século XX, com a mudança no sistema de produção, modernização da agricultura e a chegada do processo de industrialização, grande parte dos trabalhadores rurais migraram para o centro das cidades, promovendo a urbanização da DCH (Silveira & Dias 2011). Muitos dos trabalhadores que chegaram à cidade se encontravam infectados com o *T. cruzi*, e por não haver vetores da doença nesses centros urbanos, acredita-se que, a

transmissão pela via transfusional (receber sangue de uma pessoa infectada com o parasito, durante um procedimento médico) teve grande contribuição na disseminação da infecção na população urbana da época (Dias 2000). Os casos registrados em áreas não-endêmicas ocorrem, provavelmente, mediante o deslocamento de pessoas infectadas ou por outros mecanismos de transmissão, como a congênita (o feto pode adquirir o *T. cruzi* da mãe, pela via transplacentária) ou transfusional (Moncayo & Silveira 2009; Requena-Méndez et al. 2015).

No Brasil, até o início dos anos 1990, a estimativa era de que a endemia chagásica afetava cerca de 5 milhões de pessoas, 20% das quais apresentavam cardiopatia crônica e 10% manifestações digestivas, permanecendo a grande maioria na fase indeterminada (Dias 1987; OMS 1991). Entre os anos de 2000 e 2013, foram notificados 1.570 casos de doença de Chagas aguda (DCA), sendo a região Norte detentora de 91,1% das notificações, tendo sido registrados no estado do Pará cerca de 75% de todos os casos ocorridos no território nacional (Ministério da Saúde 2015). No período de 2005 a 2013, foram registrados 33 óbitos por DCA, com letalidade média anual de 2,7%. No mesmo período, foram registrados 112 surtos em 35 municípios dentro do território brasileiro, tendo como fonte provável de infecção alimentos contaminados com o *T. cruzi*, entre eles: açaí, caldo de cana e palmito de babaçu (Ministério da Saúde 2015). No estado de Goiás, onde o estudo foi realizado, entre os anos de 1999 e 2002 ocorreram 3.321 óbitos pela DCH, com maior ocorrência nas faixas etárias mais elevadas (Oliveira & Silva 2007).

O controle da doença, com base em melhoria das habitações humanas, combate químico aos vetores e controle para seleção de doadores de sangue, é possível e depende fundamentalmente de vontade política e de um programa com a continuidade e a contiguidade necessárias (Dias 2001).

O Ministério da Saúde atualmente concentra seus esforços na vigilância epidemiológica e no controle das doações em bancos de sangue, além do desafio de fornecer atenção médica e

previdenciária a cerca de três milhões de infectados (Dias 2001). Apesar de todos os esforços e conquistas, a DCH ainda representa um grande problema de saúde pública (Dias et al. 2016), que atinge especificamente populações rurais, pobres e negligenciadas pelos seus governantes, na maioria dos países Latino-Americanos em que ocorre.

1.2. Vetores da DCH: Ecologia e biologia

“Quando colocado em uma mesa, embora cercado por pessoas, se um dedo fosse apresentado, o inseto ousado projetaria seu aparelho sugador, desafiando e, se permitido, drenava o sangue”

Charles Darwin, 1871

Os insetos da subfamília Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) são conhecidos popularmente como barbeiros e, dependendo da região brasileira em que se encontram, podem ser chamados de chupões, chupanças, bicudos, finções ou procotós (Galvão 2014). Em outros países das Américas são conhecidos como *vinchuca* (Argentina, Bolívia e Chile), *chinchorro* (Equador), *chirimacha* (Peru), *chipó* (Venezuela) e *kissing bug* (EUA).

São insetos de hábito noturno, característica que auxilia no comportamento hematofágico, pois se aproveitam do descanso dos seus hospedeiros para realizar seu repasto sanguíneo, ao mesmo tempo que diminuem as chances de serem predados (Schofield 1985; Lehane 2005). Sua atividade noturna se divide em dois períodos: o primeiro logo ao anoitecer, onde buscam alimento; o segundo próximo ao amanhecer, onde os insetos procuram por um refúgio que atenda suas necessidades – preferencialmente, um local úmido e escuro que ofereça proteção contra predadores e que proporcione acesso fácil aos hospedeiros para alimentações sanguíneas subsequentes (Lazzari 1992). Assim, ainda albergados próximos ao seu refúgio, os triatomíneos podem realizar atividades como muda, cópula e oviposição. Segundo Lazzari & Lorenzo (2009) eventos de deslocamento/dispersão têm maior probabilidade de serem realizados ao longo do segundo período.

1.2.1 Distribuição Geográfica

Atualmente existem 150 espécies descritas (150 existentes e 2 fósseis) de triatomíneos (Galvão et al. 2003; Justi & Galvão 2017), sendo que todas (com exceção dos fósseis) são consideradas vetores em potencial da DCH (Galvão et al. 2003). A grande maioria das espécies ocorre na região neotropical, mas algumas poucas podem ser encontradas nos Estados Unidos, centro-sul da África, sudeste da Ásia e norte da Austrália (Jurberg et al. 2014). No Brasil foram registradas até o momento cerca de 65 espécies e, cinco destas, são consideradas epidemiologicamente mais importantes por apresentarem características que contribuem para o seu papel como vetor. São elas o *T. brasiliensis* (Neiva 1911), *T. pseudomaculata* (Corrêa & Espínola 1964), *Panstrongylus megistus* (Burmeister 1835), *Rhodnius robustus* (Larrousse 1927) e *T. sordida* (Stål 1859) (Galvão et al. 2003; Costa et al. 2006; Costa & Felix 2007; Dias 2007; Jurberg et al. 2009; Rosa et al. 2012; Gonçalves et al. 2013). As características únicas de cada bioma presente no território brasileiro, oferecem elementos ecológicos e biológicos que atendem as necessidades de diferentes espécies de triatomíneos, contribuindo significativamente para alta diversidade desses insetos. Entretanto somente algumas espécies apresentam alta capacidade vetorial, podendo ser apontados como vetores primários da DC. Tais espécies reúnem algumas características, como elevado grau de adaptação às habitações humanas, antropofilia e reduzido intervalo de tempo entre a hematofagia e a defecação (Galvão et al. 2003; Costa & Lorenzo 2009).

Na região Nordeste do nosso país, 21 espécies de triatomíneos já foram coletadas no peridomicílio (em anexos como chiqueiros e galinheiros) ou no interior das habitações humanas, sendo 12 espécies no estado de Pernambuco (Costa et al. 2003). Nos estados da Bahia e Minas Gerais, 14 espécies foram capturadas nas unidades domiciliares, representando a grande diversidade de triatomíneos em tais unidades federativas (Costa et al. 2003). No estado de Goiás, onde foram conduzidos os estudos de campo apresentados nesta tese, nove

espécies foram encontradas, num total de 201 municípios investigados, tendo sido capturados 8.605 indivíduos dos quais 5.555 eram *Triatoma sordida* (Oliveira & Silva 2007).

1.2.2. Ciclo de Vida

Os triatomíneos vetores da DCH são insetos hematófagos e sua metamorfose é descrita como incompleta (desenvolvimento hemimetábolo), com ciclo de vida com os seguintes estádios: ovo, cinco ínstaes de imaturos (ninfas) e, por fim, adulto (Figura 2). O tempo de desenvolvimento do ovo ao indivíduo adulto pode variar de 4 a 24 meses, dependendo da espécie e das condições ambientais presentes ao longo desse período, principalmente da temperatura, pois vai afetar o tempo para eclosão dos ovos, a frequência com que os triatomíneos buscam por alimento, e a velocidade do metabolismo desses insetos (OMS 2002). Em locais com pouca umidade, os triatomíneos podem buscar por alimento com mais frequência por conta da desidratação (OMS 2002). Uma fêmea de *T. infestans*, um dos principais vetores da DC, pode colocar até 600 ovos durante um período de um ano e meio, que seria o seu tempo de vida aproximado (OMS 2002). A oviposição, de maneira geral, ocorre entre 10 e 30 dias após a cópula, e as fêmeas, uma vez fecundadas, permanecem assim até o fim de sua vida (Jurberg & Galvão 2006). A maioria das espécies de triatomíneos faz a oviposição em ambiente abrigado de luz, calor e com umidade relativa moderada à alta (Lent & Wygodzinsky 1979). As ninfas possuem aparência similar aos adultos, mas diferem, principalmente, pela ausência de ocelos, asas e genitália desenvolvida (Noireau & Dujardin 2010). Ambas as formas evolutivas ocupam o mesmo nicho.

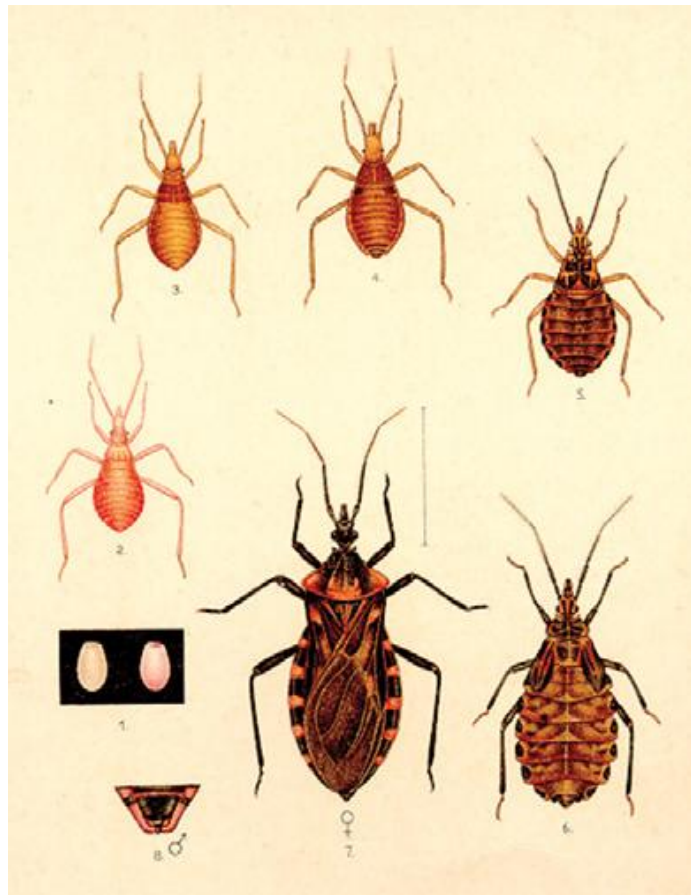


Figura 2. Ciclo de vida dos triatomíneos: fases que vão da eclosão do ovo (1), passando pelos ínstares larvais (2-6) ao indivíduo adulto (7).

Fonte: Galvão (2014).

Uma importante característica referente à sua história de vida é que, diferentemente de outros insetos hematófagos como mosquitos e flebotomíneos, onde somente a fêmea se alimenta de sangue, tanto macho quanto fêmea, além de todos os ínstares ninfais, alimentam-se de sangue (Noireau & Dujardin 2010; Lazzari et al. 2013). Tal característica faz com que todas as fases evolutivas dos triatomíneos sejam consideradas epidemiologicamente importantes, pois são capazes de se infectar e, posteriormente, transmitir o *T. cruzi* para hospedeiros vertebrados susceptíveis. O repasto sanguíneo é necessário para ativar o processo de ecdise das ninfas. (Lent & Wygodzinsky 1979; Lazzari et al 2013). Um inseto adulto ingere em média de 3-5 vezes seu peso em sangue em cada repasto sanguíneo se permitido atingir a capacidade máxima de seu estômago (Noireau & Dujardin 2010). Em algumas

situações, geralmente nas condições de escassez de alimento, os triatomíneos podem se alimentar da hemolinfa de outros invertebrados, de fezes (coprofagia), ou realizar uma cleptohematofagia (Schofield 1988; Lazzari et al. 2013).

1.2.3. Habitat

Os triatomíneos podem ser encontrados na natureza em uma grande diversidade de habitats, ocupando variados nichos ecológicos. Contudo, como era de se esperar, cada espécie apresenta suas preferências relacionadas ao micro-habitat, que geralmente estão associados à presença do seu hospedeiro vertebrado. Entre os habitats preferidos de triatomíneos estão tocas de gambás (*Didelphis* sp.), copas de palmeiras (ninho de pássaros), oco de árvores e afloramentos rochosos, onde comumente encontram-se pequenos roedores (Gaunt & Miles 2000). Essas associações podem ser específicas (para hospedeiro ou habitat) dependendo do local onde ocorrem (Galvão & Justi 2015). De acordo com Schofield (1988), essa especificidade em relação ao habitat é bem caracterizada em cada um dos três gêneros de triatomíneos mais importantes epidemiologicamente. Espécies do gênero *Rhodnius* mantém uma forte associação com palmeiras; o gênero *Panstrongylus*, por sua vez, encontra-se na grande maioria das vezes associado a tocas de animais e ocos de árvores; e o gênero *Triatoma* é mais frequentemente encontrado em afloramentos rochosos (pilhas de pedras) ou mesmo no interior de tocas de roedores (Schofield 1988).

Apesar de tais associações denotarem uma realidade sobre a relação triatomíneo/ambiente, algumas espécies pertencentes ao gênero *Rhodnius* fogem dessa “regra”. Por exemplo, foram relatados o encontro de *R. neglectus* em uma espécie de cacto (*Cereus jamacaru*) presente na região do nordeste brasileiro (Dias-Lima et al. 2003), e alguns espécimes de *R. domesticus* em bromélias e ocos de árvores em região de Mata Atlântica (Lent & Wygodzinsky 1979). É interessante notar que essa associação pode mudar de acordo com a região geográfica onde as espécies ocorrem, por exemplo, as populações silvestres de

T. infestans e *T. sordida*, que em grandes altitudes, são encontradas em pilhas de pedras, já em terras baixas, estão associados a ocos de árvores (Noireau et al. 2005). Por outro lado, algumas espécies possuem maior especificidade em relação ao habitat, como as do gênero *Psammolestes*, que são encontradas exclusivamente em ninhos de pássaros da família Furnariidae (Noireau & Dujardin 2010).

1.2.4. Adquirindo a infecção

O triatomíneo, ao se alimentar do sangue de mamíferos infectados com *T. cruzi*, ingerem o parasito em sua forma tripomastigota sanguínea. Uma vez em seu interior, o *T. cruzi* se diferencia em amastigota, burlando os mecanismos de defesa e, então, realiza uma série de divisões no intestino do inseto, até sofrer diferenciação para tripomastigota metacíclico. Ao ser expelido junto as fezes do vetor, o *T. cruzi* pode infectar outros vertebrados nos quais o triatomíneo vier a se alimentar (Clayton 2010).

No ato do repasto sanguíneo, minutos após o início da alimentação, os triatomíneos costumam defecar na pele do hospedeiro, próximo ao local de inserção do aparelho picador-sugador (Figura 3). O inseto infectado elimina o *T. cruzi* junto com as fezes (Clayton 2010; Lazzari et al. 2013). Inclusive, o tempo decorrido entre a ingestão de sangue no hospedeiro e a excreção das fezes é um dos principais parâmetros a serem avaliados para determinar a capacidade vetorial de triatomíneos. As espécies que liberam as excretas durante o repasto sanguíneo são considerados as mais importantes, pois assim, pode acontecer a infecção pelo parasito, uma vez que ele penetre (carreado pelo próprio hospedeiro) na ferida deixada pelo inseto ao sugar o sangue ou mesmo pelo contato das fezes com alguma região mucosa ou solução de continuidade (Lent & Wygodzinsky 1979).



Figura 3. Triatomíneo do gênero *Rhodnius* se alimentando e defecando no hospedeiro.

Fonte: <http://aerojetpraga.com.br/wpcontent/uploads/2014/04/barbeiro-4.jpg>

1.2.5. Risco local de transmissão: contato entre insetos e humanos

A infecção chagásica, inicialmente uma enzootia silvestre transmitida na natureza entre animais vertebrados e triatomíneos, transformou-se em uma antropozoonose com o início das ações do homem sobre o ambiente natural no qual circulava o *T. cruzi* (Fernandes et al. 1994). As condições das habitações humanas (e.g., casas sem reboco de cimento, casas de pau-a-pique, e telhados de folhas de palmeiras, entre outros) acabaram por proporcionar excelentes abrigos para os insetos. Aliado à isso, a criação de animais (seja doméstico ou para consumo – e.g., galinhas, porcos, etc.) no peridomicílio dessas habitações proporcionaram novas fontes alimentares para os triatomíneos silvestres sem a necessidade de adentrar no domicílio para realizar seu repasto sanguíneo (Coura 2007; Coura & Borges Pereira 2007; Argolo et al. 2008). Desta maneira, a presença de outros vertebrados provavelmente favoreceu a invasão e posterior colonização do peridomicílio por parte destes insetos (Argolo et al. 2008). Um exemplo desse tipo de relação é bem documentada para *T. sordida*. Essa espécie é encontrada sistematicamente pelas equipes de controle de endemias infestando preferencialmente

galinheiros localizados em propriedades rurais na região centro-oeste e sudeste do Brasil (Monteiro et al. 2009; Rossi et al. 2015).

Aspectos básicos de populações naturais de áreas endêmicas, em sua grande maioria com características rurais, possuem grande influência no risco de contato com vetores da doença de Chagas. O uso de material advindo do ambiente silvestre, como lenhas, folhas de palmeiras e piaçava, carregados para o interior das casas para uso doméstico, pode acarretar no transporte passivo de triatomíneos para as habitações humanas (Argolo 2008). Outro fator que pode contribuir para que esses insetos se direcionem para as habitações humanas é a sua atração por luzes artificiais (Noireau & Dujardin 2001; Vazquez-Prokopec et al. 2004). Alguns autores sugerem que os triatomíneos (assim como a grande maioria dos insetos com hábito noturno) confundem as luzes artificiais com a luz da lua, que pode ser usada como uma referência espacial, auxiliando no processo de deslocamento por grandes distâncias (Jander 1963; Reisenman et al. 1998; Rich & Longcore 2006; Lazzari et al. 2013). Acredita-se que esse processo se dá de forma ativa, geralmente através do voo desses insetos em sua forma adulta, ou através de deslocamento terrestre no caso de ninfas (Abraham et al. 2011).

A constante alteração do meio ambiente por parte dos seres humanos contribui para que triatomíneos, antes considerados silvestres, pudessem invadir habitações, tornarem-se domiciliados e, como consequência, manterem o ciclo de transmissão da DC no ambiente doméstico (Argolo et al. 2008; Lazzari et al. 2013; Galvão 2014). Sem dúvida, a possibilidade de constante invasão do domicílio aumenta o desafio para as autoridades responsáveis pelo controle da doença.

1.2.6. Principais espécies vetoras encontradas no Brasil

Segundo Galvão (2014), 65 espécies de triatomíneos ocorrem no Brasil e, dentre elas, cinco são reconhecidas como vetores importantes (Figura 4) – que tiveram ou ainda tem participação na transmissão domiciliar em nosso país, são elas: *Triatoma infestans*,

Panstrongylus megistus, *Triatoma brasiliensis*, *Triatoma pseudomaculata* e *Triatoma sordida*.

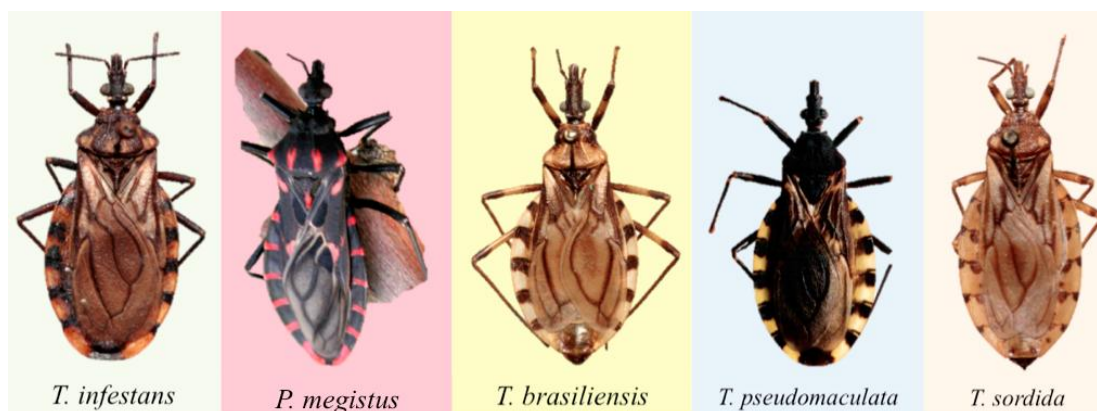


Figura 4. As cinco espécies de triatomíneo consideradas importantes vetores em território brasileiro.

Fonte: Adaptado de Galvão (2014).

1.2.6.1. *Triatoma infestans*

Até o ano de 2006, *Triatoma infestans* foi considerada a espécie vetora do *T. cruzi* mais importante no Brasil, e ainda está presente em países que fazem parte do Cone Sul, sendo encontrada em diversas regiões geográficas ao longo da Argentina, Bolívia, Paraguai, Peru e Uruguai (Luz et al. 1998; Guhl & Aufderheide 2010). Em nosso país esta espécie foi considerada quase que exclusivamente domiciliar, com alguns focos silvestres (Schmunis et al. 1996; Noireau et al. 2005).

Ao contrário da maioria das espécies de triatomíneos, o *T. infestans* consegue tolerar uma ampla gama de condições climáticas (OMS 2002) e possui uma grande capacidade de dispersão, podendo se deslocar por distâncias superiores a 550 metros (Schofield et al. 1992), e atingir até 1.500 metros de distância durante o voo em campo aberto (Schweigmann et al. 1998). Essa capacidade de dispersão é tida como um dos principais motivos para a ocorrência de reinfestações após as campanhas de controle vetorial, realizadas através da borrifação de

inseticidas residuais (Schofield & Matthews 1985; Cecere et al. 2004; Vazquez-Prokopec et al. 2004). Segundo a OMS (2002), em locais que apresentam altas temperaturas, e uma boa condição de alimentação, esta espécie é capaz de gerar duas proles por ano. Quanto a detecção de um possível hospedeiro, Lorenzo et al. (1999) estimam que o *T. infestans* é capaz de detectar o calor de um rosto humano à uma distância de dois metros. Durante a vida adulta, uma fêmea vai ingerir, aproximadamente, 10 ml de sangue (Noireau & Dujardin 2010).

No Brasil, apesar da certificação de interrupção da transmissão do *T. cruzi* pelo *T. infestans* (Dias 2006), ainda encontram-se focos residuais desse inseto vetor nos estados da Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (Ministério da Saúde 2009). Recentemente, Araújo et al. (2014), conduziram um estudo na cidade de Ibipêba, estado da Bahia, e capturaram 183 espécimes de *T. infestans*, sendo 8,7% no intradomicílio e 92,3% no peridomicílio, com uma colônia habitando o tronco de uma árvore à aproximadamente 50 metros de uma das residências. Esse estudo serve como um alerta para as autoridades envolvidas no controle vetorial, evidenciando a necessidade da continuidade de tal atividade, pois os eventos de reinfestação podem trazer de volta a transmissão vetorial por parte do *T. infestans*.

1.2.6.2. *Panstrongylus megistus*

O *Panstrongylus megistus* é uma das espécies que apresenta um grau de domiciliação elevado, pois já foi encontrada em ambientes domésticos, inclusive com o estabelecimento de colônias no intradomicílio (OMS 2002). Na natureza encontra-se geralmente junto à árvores ocas que possibilite alguma forma de abrigo, ou tocas de animais terrestres, onde – além de abrigo –, o triatomíneo se encontra mais próximo à uma fonte alimentar (Schofield 1988). Em alguns casos ainda podem ser encontrados na copa de palmeiras (Gaunt & Miles 2000). Vale ressaltar que em áreas onde a vegetação natural está preservada, a espécie dificilmente invade casas próximas (Forattini et al. 1978, 1978a, 1979), ao passo que em áreas onde a ação

antrópica é evidente, poderá invadir anexos peridomiciliares (e.g., galinheiros) e habitações humanas (Pires et al. 2004).

O desenvolvimento do ovo até o inseto adulto dura mais de um ano, e está relacionado com fatores como, disponibilidade de sangue, densidade populacional e temperatura do ambiente em que se encontra (Noireau & Dujardin 2010). Por ser uma espécie grande, quando comparada a outros triatomíneos, um indivíduo adulto pode ingerir até 20ml de sangue durante sua vida alada (Noireau & Dujardin 2010).

Esta espécie está distribuída em quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. O *P. megistus* foi considerada a espécie com maior potencial dispersivo em meados da década de 70, pois fora encontrado em todos os estados brasileiros onde havia cobertura por parte das atividades de controle e pesquisa domiciliar da época (Silveira & Dias 2011). Essa espécie é autóctone do ecossistema Tropical Atlântico brasileiro, e em toda sua trajetória em território nacional, ocorreu em mais de 20 estados (OMS 2002), abrangendo diferentes biomas (Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga), mostrando grande potencial de adaptação da espécie à condições ecológicas diversas (Galvão 2014).

1.2.6.3. *Triatoma brasiliensis*

Estudos multidisciplinares indicam que o complexo *Triatoma brasiliensis* é um grupo monofilético (Monteiro et al. 2004; Costa et al. 2013). As espécies relevantes nesse grupo são *T. b. brasiliensis* (que será tratado aqui apenas como *T. brasiliensis*), *T. b. macromelasoma*, *T. juazeirensis*, *T. melanica* e *T. sherlocki* (Costa et al. 2014). Os membros desse grupo possuem características morfológicas externas distintas que podem ser identificadas (Costa et al. 2013), porém erros na identificação dos espécimes são recorrentes. Esse complexo de espécies está bem disperso pelo território brasileiro, ocorrendo em 12 estados, abrangendo os biomas de caatinga e cerrado (Costa et al. 2003). Os membros que compõe esse complexo possuem

importância epidemiológica distintas, assim como características morfológicas, genéticas, história natural e capacidade de dispersão diferentes (Costa et al. 1997; Costa et al. 2009a).

T. brasiliensis é a espécie melhor estudada e considerada o principal vetor na região Nordeste do Brasil – status alcançado após a interrupção da transmissão vetorial por parte do *T. infestans* (Diotaiuti et al. 1998b; Costa et al. 2003). É encontrada nos estados de Alagoas, Ceará, Maranhão, Paraíba, Piauí, Rio grande do Norte, Minas Gerais (região Sudeste) e Tocantins (região Norte), apresentando índices de infecção natural por volta dos 15% (Costa 1999, Costa et al. 2003). Possui habilidade para ocupar uma grande variedade de ecótopos, mas é vista com frequência habitando pilhas de pedras, onde também se encontram pequenos mamíferos e répteis (Carbajal de la Fuente et al. 2008). Lorenzo et al. (2000) sugerem que as frestas nas paredes dos domicílios, onde *T. brasiliensis* é encontrado habitando, oferecem condições de abrigo semelhantes ao do ambiente natural ocupado por esta espécie e, aliado à isso, existe o hospedeiro humano como fonte sanguínea, sendo assim, ambos os fatores contribuiriam para a adaptação ao ambiente domiciliar e, como consequência, sua colonização.

Em estudo recente, conduzido por Silva et al. (2017) no estado de Pernambuco, foram realizadas coletas de diversas espécies de triatomíneos para verificação da preferência alimentar e infecção natural. Dentre os 687 exemplares coletados, 325 (47,3 %) eram da espécie *T. brasiliensis*, onde 32 exemplares estavam infectados naturalmente pelo *T. cruzi*. Quando analisada a preferência alimentar desses indivíduos, foi constatado que 46 (14,1%) haviam se alimentado de sangue humano, sendo 26 (8%) capturados no interior das casas e 20 (6,1%) no peridomicílio, e ainda, quatro dos 46 insetos estavam positivos para o *T. cruzi*.

O *T. brasiliensis* representa um grande desafio para atividades de controle, pois sua eliminação no ambiente domiciliar não evita sua constante recolonização a partir dos focos silvestres (Silveira & Vinhaes 1998; Costa et al. 2003).

1.2.6.4. *Triatoma pseudomaculata*

O *Triatoma pseudomaculata* é autóctone do nordeste brasileiro, e considerado uma espécie secundária em importância epidemiológica (Noireau & Dujardin 2010). Apesar de haver registro desta espécie no estado de Minas Gerais, sua relevância é pequena quando comparada a outras espécies consideradas importantes epidemiologicamente que estão presentes no norte do estado (Vianna et al. 2017). Atualmente está distribuída por 13 estados brasileiros, passando pelos biomas de Caatinga (predominante) e Cerrado. Trata-se de uma espécie arborícola, mas que não exibe preferência por determinada espécie de árvore, e tal comportamento é tido como uma vantagem em sua estratégia de sobrevivência (Noireau & Dujardin 2010). São mais de 10 espécies de árvores servindo como habitat para esse inseto, e nelas, o triatomíneo se encontra em espaços ocultos, ou em ninhos de pássaros da família Furnariidae (Dias-Lima et al. 2003; Carbajal de la Fuente et al. 2008).

Na região nordeste do Brasil, o *T. pseudomaculata* é capturado com frequência, tanto no ambiente silvestre quanto no peridomicílio, e apresenta um alto índice de infecção natural pelo *T. cruzi* (Sarquis et al. 2004, 2012). A criação de animais domésticos (e.g., galinhas, porcos, cabras e cães) aumenta a oferta de alimento e contribui para o estabelecimento de colônias de *T. pseudomaculata* e *T. brasiliensis* no peridomicílio (Oliveira et al. 2000; Freitas et al. 2004; Carbajal de la Fuente et al. 2008). *T. pseudomaculata* parece não dispor de habilidade suficiente para estabelecer colônias no interior das casas (Carbajal de la Fuente et al. 2008), entretanto, Silva et al. (2017) capturaram 26 espécimes no interior de domicílios durante um estudo realizado em Pernambuco. Nenhum dos 26 insetos capturados estava positivo para *T. cruzi* (Silva et al. 2017).

1.2.6.5. *Triatoma sordida*

Triatoma sordida está distribuído por cinco países presentes na América do Sul, são eles: Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai (Patterson & Guhl 2010; Galvão 2014).

Seu habitat silvestre pode variar de acordo com a região geográfica onde ocorrem, por exemplo, populações da região Andina habitam afloramentos rochosos, ao passo que, as populações de regiões de baixa altitude estão presentes em cascas e ocos de árvores (Noireau & Dujardin 2010).

No Brasil o *T. sordida* é a espécie predominante no estado da Bahia e nos estados da região Centro-oeste (onde é considerada a principal espécie do ponto de vista epidemiológico) e Sudeste do Brasil (Galvão 2014), sendo a espécie capturada com mais frequência pelos serviços de vigilância epidemiológica (Silveira & Dias 2011) habitando galinheiros e outros anexos peridomiciliares (Monteiro et al. 2009; Rossi et al. 2015). Possui grande capacidade em colonizar estruturas artificiais geradas pela ação antrópica (OMS 2002).

Apresenta baixa taxa de infecção natural pelo *T. cruzi* (Oliveira & Silva 2007), fato esse atribuído à sua marcada ornitofilia (Silveira et al. 1993). Alguns autores sugerem que a invasão do domicílio pelo *T. sordida* só aconteceria quando esgotada todas as fontes alimentares no peridomicílio (Silveira et al. 1993; Silveira & Dias 2011). Em comparação com outros triatomíneos, o *T. sordida* possui elevada expectativa de vida (Pelli et al. 2007). Em estudos de sobrevivência em condições de laboratório o tempo de vida variou de 420 à 659 dias (Dias 1955; Pelli et al. 2007). As colônias encontradas em ambiente silvestre, geralmente são pequenas e apresentam um status nutricional baixo, fato esse que influencia a iniciação do voo e, conseqüentemente, o processo de dispersão (OMS 2002). Assim como *T. infestans*, o *T. sordida* possui uma grande capacidade de dispersão pelo voo, sendo capaz de se deslocar por distâncias superiores a 200 metros em campo aberto (Schofield et al. 1991).

1.3. Controle da doença de Chagas no Brasil: situação atual

De acordo com a OMS e o Banco Mundial, tanto a incidência quanto o impacto social da DCH têm diminuído significativamente desde o início do século XX quando comparado com décadas anteriores (Coura & Dias 2009; OMS 2015; Sosa-Estani & Segura 2015). Os

fatores que levaram a tal mudança são principalmente de natureza social e econômica, como melhoria de habitações humanas, modernização da agricultura e urbanização. Contudo, intervenções específicas como intensificação do controle vetorial, maior monitoramento de contaminação nos bancos de sangue e disponibilidade do tratamento na fase aguda têm auxiliado na redução da incidência da DCH nos últimos anos (Dias 2015). Vale ressaltar que o controle da DCH apresenta diferentes padrões de sucesso, dependendo do país ou região, por exemplo, Argentina, Brasil, Chile, Uruguai e Venezuela, possuem estratégias de controle bem definidas e, portanto, tem conquistado melhores resultados (Dias et al. 2013). Por outro lado, Bolívia, Paraguai, e parte do Peru sofrem com a irregularidade das ações de controle e, ainda apresentam altos índices de endemia e incidência da doença (Dias et al. 2013).

Os resultados em relação às ações de controle das populações domésticas de triatomíneos são satisfatórios nas regiões onde se tem seguido os preceitos de cobertura e continuidade (Dias & Schofield 1999; OMS 2002; Schofield et al. 2006). A dispersão da DCH para países não endêmicos é uma das grandes preocupações atuais, não mais pela chegada de imigrantes infectados (Dias 2015), e sim pelos recentes casos ocorridos pela via transfusional em países como Espanha e Japão (Requena-Méndez et al. 2014; Imai et al. 2014). Atualmente quase todos os bancos de sangue em países endêmicos estão atentos para o risco da transmissão por via transfusional (Dias 2015).

A transmissão congênita também se encontra controlada e, com base na progressiva queda da incidência de casos relacionados à transmissão por essa via nas últimas décadas (Moraes-Sousa & Ferreira-Silva 2011; Dias et al. 2013), é possível fazer uma previsão para os próximos 20 anos, quando se espera que as mulheres em áreas endêmicas estejam livres do *T. cruzi* (Coura et al. 2014).

No ciclo silvestre, a transmissão do *T. cruzi* pela via oral é considerada um mecanismo primário, ao passo que para humanos, esta transmissão ocorre de maneira esporádica e circunstancial através do consumo de alimentos contaminados, ingestão acidental do

triatomíneo ou suas fezes (Dias & Amato Neto 2011). De 2005 a 2013 foram contabilizados 112 surtos de DCA pela via oral no País (Ministério da saúde 2015). Esse aumento no número de notificações pela via oral no Brasil veio através da melhoria na vigilância deste modo de transmissão logo após o primeiro surto oficialmente investigado, ocorrido em Santa Catarina em 2005 (Ministério da Saúde 2015). Por não depender somente do controle vetorial, infelizmente é provável que ainda ocorram pequenos surtos de DCA pela transmissão oral, podendo ser gerenciados em seu âmbito focal, dependendo principalmente de avanços de natureza social e melhor manejo do meio ambiente (Coura 2015; Dias et al. 2016).

1.4. Triatomíneos não domiciliados: vigilância constante

Os triatomíneos, de maneira geral, podem ser classificados de acordo com sua importância epidemiológica em vetores primários e secundários. Espécies como *T. infestans* e *Rhodnius prolixus* são considerados vetores primários pois apresentam um alto grau de antropofilia, invadem as habitações humanas com frequência, estabelecem colônias com alta densidade e possuem um alto índice de infecção natural por *T. cruzi* (Noireau et al. 2005). As espécies que são denominadas vetores secundários, geralmente são autóctones, possuem capacidade vetorial inferior e são capazes de, ocasionalmente, infestar os domicílios ou peridomicílios (Dias & Diotaiuti 1998; Noireau et al. 2005).

A grande dificuldade de se controlar a transmissão da DC se dá pelos eventos de reinfestação, especialmente quando estes acontecem logo após as campanhas de controle vetorial. A vigilância constante é requerida, mesmo em regiões onde o vetor primário foi “eliminado”, pois sempre haverá a possibilidade de reinfestação pela mesma espécie a partir de foco silvestre, ou a invasão por outras espécies que possam estabelecer colônias no peri ou intradomicílio (Gorla et al. 2010; Dias 2015).

No Brasil, paralelamente à eliminação dos focos intradomiciliares, a infestação peridomiciliar assumiu um papel importante. Fenômenos de invasão esporádica ou

progressiva, de triatomíneos considerados vetores secundários, têm sido relatados em todo o território (Dias 2007). Dentre as espécies em destaque temos *P. megistus*, *T. brasiliensis*, *T. pseudomaculata* e *T. sordida* (Dias 2007).

P. megistus é considerado o principal vetor autóctone da DC nas regiões Central, Leste e Sudeste do Brasil devido à sua capacidade de realizar invasões frequentes ao intra e peridomicílio (Gorla & Noireau 2010). O *T. brasiliensis* é o vetor predominante na região Nordeste (Costa et al. 2003; Sarquis et al. 2012) e apresenta altos índices de infecção por *T. cruzi*. Um estudo de genética de populações sugere fluxo gênico ativo entre populações do Nordeste (Almeida et al. 2016). O *T. brasiliensis* costuma invadir e recolonizar domicílios geralmente por volta de 6 meses após ações de controle com a borrifação de inseticidas (Silveira et al. 2001; Costa & Lorenzo 2009). *T. pseudomaculata* está presente em 13 estados brasileiros, em regiões de Caatinga e Cerrado. Apesar de não apresentar habilidades para estabelecer colônias no interior das casas, *T. pseudomaculata* é encontrado com frequência invadindo domicílios (Carbajal de la Fuente et al. 2008).

No Brasil, principalmente nas áreas onde a ICS teve sucesso com o controle do *T. infestans*, o *T. sordida* é a espécie capturada com mais frequência pelos serviços de vigilância (Monteiro et al. 2009), particularmente na região Centro-Oeste do nosso país (Pereira et al. 2013). Encontrado frequentemente em anexos peridomiciliares – na grande maioria das vezes em galinheiros – essa espécie apresenta baixo índice de infecção natural por *T. cruzi* (Forattini et al. 1975, Diotaiuti et al. 1995, Oliveira & Silva 2007) e até o momento, não existe evidência de transmissão vetorial do *T. cruzi* para humanos por esse vetor (Noireau et al. 1997; Gorla & Noireau 2010).

1.4.1. Mecanismos de dispersão dos triatomíneos

Um dos mecanismos mais importantes e que possibilitam os eventos de reinfestação é a capacidade de dispersão dos triatomíneos. Esse deslocamento pode ocorrer de duas formas diferentes:

- Dispersão passiva – sem dispêndio energético do inseto, geralmente conduzido através do deslocamento de seus hospedeiros naturais, ou até mesmo de pedaços de lenha e folhas de palmeiras trazidas para o uso doméstico.
- Dispersão ativa – Exige gasto energético do indivíduo que se desloca. Os triatomíneos adultos geralmente se deslocam através do voo mas, assim como as ninfas (que ainda não possuem as asas formadas), também podem se deslocar caminhando.

Há registros do transporte passivo desses insetos em roupas e bagagens (Gamboa 1962), e também do encontro de ovos e ninfas sobre as penas de pássaros (Forattini et al. 1971). Sobre a dispersão ativa, recentemente Abrahan et al. (2011), utilizando fitas adesivas no chão ao redor de estruturas peridomiciliares, capturaram triatomíneos fêmeas ingurgitadas ou com seu oviduto repleto de ovos, caminhando próximo à um galinheiro e curral de cabras. Acredita-se que a dispersão ativa através do voo seja de grande importância epidemiológica, por ser responsável pelos ciclos de invasão e recolonização do peridomicílio, realizados pelos triatomíneos oriundos do ambiente silvestre (Schweigmann et al. 1988; Schofield et al. 1992).

Os fatores que levam à dispersão são de origem variada. A competição e a busca por recursos podem estimular os adultos a procurar por um novo habitat, deixando o ecótopo silvestre durante o chamado “período de infestação” (OMS 2002). Além disso, fatores hormonais/fisiológicos – a busca por parceiros no período de cópula e recursos alimentares – também influenciam neste processo.

1.4.2. Necessidade de estudos ecológicos

Populações silvestres e peridomésticas de *R. prolixus*, *T. infestans* e *T. dimidiata* parecem invadir os domicílios sazonalmente na Venezuela, no Chaco, Argentina, e na Península Yucatán, México, respectivamente (Dumonteil et al. 2007, Fitzpatrick et al. 2008, Ceballos et al. 2011). Estes eventos de reinfestação têm ocorrido em maior frequência à partir de indivíduos oriundos de populações que já haviam estabelecido colônias no peridomicílio, sendo a invasão do domicílio menos frequente por parte de triatomíneos de populações silvestres.

A utilização de métodos indiretos tais como captura de insetos com armadilhas luminosas e modelos estatísticos de dinâmica populacional corroboram o padrão de migração *peridomicílio >> domicílio* (Vazquez-Prokopec et al. 2006, Barbu et al. 2010, Abrahan et al. 2011). Apesar de terem contribuído muito para o avanço do conhecimento acerca da dinâmica populacional e movimentação dos triatomíneos, a utilização de armadilhas e modelos matemáticos, por si só, não medem diretamente a capacidade de dispersão dos insetos, nem a quantidade de indivíduos de cada ambiente (silvestre e peridomicílio) que contribui para os eventos de reinfestação. Adicionalmente, armadilhas luminosas, de uma maneira geral, não se prestam à captura de ninfas – a não ser por raras exceções (Vazquez-Prokopec et al. 2004; Vazquez-Prokopec et al. 2006).

1.4.2.1 Revisitando o passado: Marcação-Soltura-Recaptura

O método de marcação-soltura-recaptura (MSR) consiste basicamente em:

- t1= captura, marcação e soltura de indivíduos (n1) que vão se misturar à população original (N)
- t2 = captura de indivíduos (n2), dos quais alguns serão provenientes da primeira marcação (m2).
- Se a amostragem e distribuição de animais é aleatória, temos que a proporção em t1 e t2 é igual, logo;
- $n1/n2 = m2/n2$

$$N = n1.n2/m2$$

O método de MSR foi usado pela primeira vez em um estudo de caráter ecológico por Petersen em 1896, para estimar o tamanho populacional de estoques do linguado *Platichthys platessa* no atlântico norte (Southwood & Handerson 2000). Essa técnica tão usada para o estudo de populações, também pode ser usada para mensurar parâmetros como dispersão, sobrevivência, longevidade e crescimento (Southwood & Handerson 2000). Por motivos óbvios, as técnicas de marcação usadas para estudos de vertebrados não se aplicam à pequenos organismos como insetos vetores.

Em epidemiologia, essa metodologia tem sido adaptada e aplicada a populações de vetores biológicos de agentes infecciosos, como subsídio para a avaliação da capacidade vetora (Santos & Forattini 1999). O método de MSR foi amplamente usado em trabalhos com mosquitos, tendo como marcador pós fluorescentes de variadas cores, todas visíveis à luz ultravioleta (UV), o que possibilita a detecção da marcação mesmo quando o pó não está visível a olho nu. Tais experimentos tinham como objetivo estabelecer tamanho de populações, capacidade de dispersão, e sobrevivência de diferentes espécies, como pode ser visto em trabalhos com *Culex tarsalis* (Bailey et al. 1965), *Aedes aegypti* (Nayar 1981;

Maciel-de-Freitas & Lourenço-de-Oliveira 2009), *Anopheles albitarsis* (Santos & Forattini 1999) e *An. sinensis* (Cho et al. 2002), por exemplo.

Os primeiros experimentos usando a metodologia de MSR com triatomíneos, foram feitos para avaliar a movimentação entre ecótopos artificiais (Forattini et al. 1973), e também entre peridomicílio e domicílio (Gomez-Núñez 1969). Gomez-Núñez (1969), em estudo realizado na Venezuela, utilizou fios minúsculos contendo o radioisótopo CO60 envolto em ouro para marcar espécimes de *Rhodnius prolixus*. Durante 40 dias rastreou-se a movimentação de *R. prolixus* entre ecótopos naturais e o intra/peridomicílio, com a ajuda de um cintilador e um contador Geiger, sendo observado que essa movimentação não excedeu 15 metros.

Sabemos que para os triatomíneos a capacidade de voo tem um papel importante na vida do inseto adulto. A habilidade de se deslocar por grandes distâncias pode influenciar no processo de colonização de um novo habitat, seja ele silvestre, peridomiciliar ou domiciliar (Lehane & Schofield 1976). Tal habilidade foi avaliada através de experimentos de MSR, como por exemplo Lehane & Schofield (1981) que avaliaram a iniciação do voo de *T. infestans* – em experimentos conduzidos na Argentina e Brasil – em campo aberto, e conseqüentemente o quanto esses insetos se deslocaram, constatando a capacidade desta espécie em atingir distâncias superiores à 100 metros. Em estudo semelhante realizado em amplas salinas na Argentina, mas utilizando o *T. sordida* Schofield et al. (1991) observaram que esses indivíduos foram capazes de se deslocar através do voo por distâncias acima dos 200 metros.

Os estudos acima mencionados trouxeram informações importantes sobre a capacidade de dispersão e movimentação dos barbeiros. Contudo, abordagens em um espaço micro-geográfico ainda se faz necessário para adultos e principalmente para ninfas, que ainda necessitam de um método de marcação eficiente.

1.5. Breve relato sobre a situação atual da DCH no município de Posse – GO: local onde o estudo foi realizado.

A cidade de Posse se localiza no nordeste do estado de Goiás, fazendo divisa com a Bahia. As áreas rurais são bem isoladas e de difícil acesso e seus residentes precisam se deslocar aproximadamente 15km para chegar à cidade. Não existe transporte público e grande parte da população rural não possui meio de transporte. A dificuldade no acesso aos serviços de saúde – que está presente somente no centro urbano – contribui negativamente para o estado de saúde da população rural.

Na década de 90, apesar dos programas de controle através da borrifação de inseticidas estarem atuando constantemente (de Andrade et al. 1995), mais de 60% dos adultos residentes na zona rural de Posse estavam positivos para a infecção por *T. cruzi* (Williams-Blangero et al. 1997). Ainda na mesma década, uma pesquisa foi realizada para avaliar o conhecimento da população em relação a DCH (Williams-Blangero et al. 1999), e 86,4% dos entrevistados disseram que a DCH era o maior problema na região, e muitos deles conheciam pessoas que sofriam com a doença. Quando perguntados sobre como eles adquiriam a infecção, 72,9% responderam que a doença “vinha” do barbeiro (triatomíneos), apontando o inseto como a maior causa de transmissão nessa região.

Williams-Blangero et al. (2007) conduziram um estudo em larga escala para avaliar a soropositividade para *T. cruzi* e a alteração em eletrocardiogramas (ECG) de 1.389 habitantes da cidade de Posse. Somente 1.190 indivíduos participaram integralmente da pesquisa, e à eles, foram aplicados três testes: ELISA, hemaglutinação e imunofluorescência. O índice de soropositividade foi de 52% (722 pessoas) e dentro deste grupo estavam os indivíduos com maiores alterações cardíacas. Muitos dos indivíduos participantes do estudo não sabiam que estavam infectados até então, portanto nunca procuraram ajuda médica para avaliar sua situação.

No ano de 2013, foi realizada a primeira visita à cidade para conversar com as equipes

da secretaria de saúde, quando foi informado pelos agentes de endemia que o controle (borrifação com inseticida) da DCH não era feito há seis anos. A falta de inseticida e viaturas (para alcançar as áreas infestadas) foram apontados como principais motivos para a não realização do controle extensivo e contínuo na cidade. A borrifação de inseticida estava condicionada à entrega de um exemplar do barbeiro – por parte do morador – na sede do controle de endemia, assim um agente era designado para realizar a borrifação nesta residência. Devido às condições de deslocamento já comentadas, dificilmente a população aderiria a essa estratégia tornando-a eficiente. Como consequência, a descontinuidade no programa de controle pode contribuir para o aumento da incidência em localidades como Posse, onde os índices de positividade para o *T. cruzi* na população se mostraram altos nos últimos 20 anos (De Andrade et al. 1995; Williams-Blangero et al. 2007). Grande parte das famílias residentes na zona rural de Posse, em função da dificuldade no acesso aos serviços de saúde não sabem que estão infectadas, o que pode levar a um aumento do risco de transmissão pela via congênita.

No ano de 2016, a secretaria de saúde de Posse adquiriu uma viatura, retomando assim as atividades de controle na área rural da cidade. Por outro lado, a falta de inseticida ainda é recorrente, dificultando o trabalho pleno, assim como a constante quebra do veículo. Durante o período de estadia na cidade, visitei diversas localidades rurais, além do posto de saúde da região foram visitadas. Naquela oportunidade foram conhecidas diversas pessoas, dentre elas algumas com cardiopatia chagásica. Na última visita realizada, no início de 2017, duas dessas pessoas haviam falecido por complicações devido a DCH. Uma delas tinha apenas 34 anos.

2. JUSTIFICATIVA

Uma vez que ainda não existem vacinas ou medicamentos profiláticos, o controle de vetores se torna essencial para reduzir a transmissão da doença de Chagas em áreas endêmicas.

Atualmente, estudos de campo a respeito da ecologia de triatomíneos são escassos. Pouco se sabe sobre fatores como dispersão, movimentação entre ecótopos, sobrevivência, exploração de nicho, recrutamento, tamanho populacional e reinfestação do peridomicílio das espécies de triatomíneos brasileiros. Análises micro-ecológicas e populacionais podem responder diretamente questões epidemiológicas tais como a capacidade de dispersão de uma determinada espécie (Maciel-de-Freitas et al. 2009).

No que tange à biologia de triatomíneos e a epidemiologia da DC, um dos aspectos mais importantes que ainda permanece pouco estudado diz respeito à qual distância (perímetro que cubra tanto o domicílio quanto os anexos peridomiciliares) as campanhas de controle químico devem ser executadas para retardar a recolonização do peridomicílio. A utilização do método de marcação-soltura-recaptura (MSR) pode nos fornecer dados importantes, e responder questões relacionadas a movimentação dos triatomíneos em escala micro-geográfica.

Para triatomíneos adultos o uso de marcação tópica é possível, devido ao seu tamanho. No entanto, esta metodologia não se aplica aos ínstares ninfais, pois durante a realização da ecdise desses insetos, a marcação tópica se perderia. Nesse caso, ensaios de MSR ainda podem ser executados utilizando como alternativa de marcação elementos-traço (Valença-Barbosa et al. 2016), que ao serem ofertados junto com a alimentação sanguínea, podem ser detectados na hemolinfa do inseto.

Desta maneira, esta tese de doutoramento pretende fornecer informações ainda desconhecidas acerca da biologia de adultos do *T. sordida* em um peridomicílio típico do Cerrado brasileiro. Logo, todo o esforço deste trabalho foi concentrado no peridomicílio, área situada entre o ambiente silvestre e o intradomicílio, e considerada de suma importância, pois

ali transitam animais domésticos e silvestres que podem atuar como reservatórios e potenciais fontes de infecção aos insetos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar aspectos populacionais de *T. sordida* no Cerrado brasileiro em uma escala micro-geográfica utilizando experimento de marcação, soltura e recaptura.

3.2 Objetivos específicos

- Estimar a movimentação de espécimes adultos de *T. sordida*, em relação à colonização de anexos peridomiciliares, utilizando experimentos de marcação, soltura e recaptura (MSR) em condições naturais (no campo).
- Estimar a densidade populacional de *T. sordida* através de ensaios envolvendo múltiplas recapturas de triatomíneos adultos silvestres.
- Estimar a sobrevivência da população adulta de *T. sordida* em intervalos de 15 dias.

4. CAPÍTULO I – Avaliação da movimentação de insetos adultos de *T. sordida* em área peridomiciliar através de experimentos de Marcação Soltura e Recaptura

4.1. Justificativa

A informação sobre a movimentação de triatomíneos no nível micro-geográfico pode nos fornecer informações importantes acerca de seu comportamento e biologia, e como consequência, somar ao conhecimento já obtido e aplicado no desenvolvimento de estratégias de controle vetorial mais eficazes. A distância entre o habitat silvestre e doméstico parece ser um fator chave que rege o sucesso do processo dispersivo do inseto (Noireau et al. 2000; Erazo & Cordovez 2016). Certamente, a habilidade dos triatomíneos de se moverem (seja por voo ou simplesmente caminhando) dentro da área peridomiciliar e eventualmente invadir e colonizar moradias humanas é de especial interesse para melhor se compreender a epidemiologia da DC (Abrahan et al. 2011).

Embora as taxas de sobrevivência e as estimativas de tamanho das populações naturais sejam tópicos importantes a serem considerados ao avaliar a intensidade da transmissão, ambos, até o momento, receberam pouca atenção. A dispersão de *T. sordida*, por exemplo, tem sido estudada em cenários específicos como salinas (Schofield et al. 1991) ou com a ajuda de galinheiros experimentais no ambiente natural e/ou modificado pelo homem (Forattini et al. 1979). Ao realizar experimentos de dispersão em ambientes tão específicos, apesar de estimativas empíricas serem geradas, há limitado poder de extrapolação de seus resultados para outras paisagens. As poucas estimativas disponíveis sugerem que alguns indivíduos podem apresentar um voo longo, com coleta superior a 100 m do ponto de soltura (Schofield et al. 1991; Forattini et al. 1979).

A técnica mais eficaz para estimar parâmetros populacionais tais como a capacidade de dispersão de insetos, taxas de sobrevivência e tamanho da população, é conhecida como marcação-soltura-recaptura (MSR). Exige, no entanto, que os marcadores sejam duradouros e

não afetem o comportamento ou a sobrevivência dos insetos, e também que os insetos liberados se misturem com os nativos, não havendo diferentes probabilidades de captura dos marcados frente aos não-marcados.

Por haver muito pouco conhecimento sobre capacidade dos insetos antropofílicos em se movimentar ativamente em pequenas áreas, abordamos essa questão concentrando nossa investigação na área específica referida como o peridomicílio. A mesma é, geralmente, definida como o espaço existente situado entre a área silvestre e doméstica. O peridomicílio é de relevância epidemiológica particular, pois acredita-se que sirva de ligação entre os ciclos de transmissão silvestre e doméstico. No presente estudo avaliamos, através de ensaios de MSR, a movimentação de ninfas e adultos de *T. sordida* na área peridomiciliar em uma zona rural do Cerrado. Além disso, também foram estimadas as taxas de sobrevivência e as estimativas de tamanho das populações naturais dos insetos adultos.

4.2. Materiais e Métodos

Área de estudo. O estudo foi conduzido dentro do peridomicílio de uma habitação rural localizada no município de Posse, Estado de Goiás, Brasil. O município se encontra à aproximadamente 320 km da capital brasileira, Brasília (Figura 5). Posse compreende uma área em torno de 2.024,537 km², com uma população aproximada de 35.000 habitantes (IBGE 2017). A vegetação característica é a do Cerrado, segundo maior bioma brasileiro. O centro da cidade é urbano, com ruas pavimentadas e serviços de água, luz e esgoto presentes de forma regular. É basicamente um município rural pobre, com casas simples, sendo a grande maioria ainda de pau-a-pique (Figura 6). Como característico de regiões rurais, muitas propriedades possuem anexos peridomiciliares (Figura 7) como, galinheiros (GAL), Currais (CUR), chiqueiros e depósitos para grãos diversos ou material de trabalho.

A partir de 2007 o programa de aceleração do crescimento chegou em Posse, no intuito de substituir as casas de pau-a-pique, ou mesmo as de tijolos que pudessem ainda contribuir

para o estabelecimento de triatomíneos no interior das casas (Ministério do Planejamento 2017). Tal medida está inserida no **Programa Nacional de Combate à Doença de Chagas** (PCDCh) em Posse (Prefeitura de Posse – GO 2016). De 2007 até 2016 diversas casas foram substituídas, e muitas famílias foram agraciadas com novas moradias (Figura 8). Casas fabricadas em alvenaria e com reboco de cimento não possuem frestas em suas paredes, locais onde os triatomíneos costumam se abrigar e formar colônias no interior das casas. Logo, a possibilidade de um inseto (barbeiro) invadir e estabelecer uma colônia se torna menor.

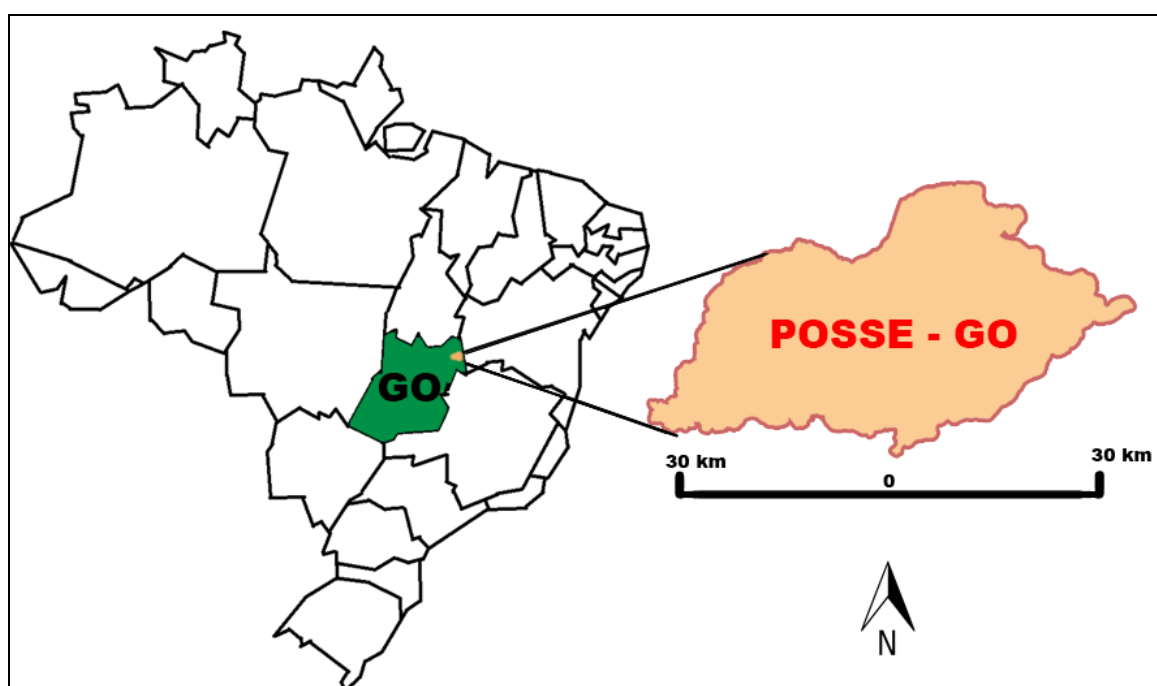


Figura 5. Localização do município de Posse dentro do Estado de Goiás: Região Centro-oeste do Brasil.



Figura 6. Típica casa de pau-a-pique comumente encontrada nas áreas rurais do município de Posse – GO, Brasil.



Figura 7. Anexos peridomiciliares comuns nas casas da zona rural de Posse – GO, Brasil: A) galinheiro; B) curral; C) chiqueiro; D) depósito; são usados para estocar materiais diversos, como por exemplo grãos (milho e feijão), feno e material de trabalho no campo.



Figura 8. Novas casas entregues para os moradores de Posse – GO como parte do Programa Nacional de Combate a Doença de Chagas PCDCh.

Coleta de campo e manutenção do *T. sordida* em laboratório. A coleta de triatomíneos foi realizada em cinco dias nos meses de Abril (2 dias) e Maio (3 dias) de 2014. Foram visitadas 44 propriedades rurais distribuídas em nove localidades (Figura 9) do município de Posse. O objetivo principal das coletas foi obter insetos suficientes para iniciar uma colônia, possibilitando o desenvolvimento das ninfas até a forma adulta para viabilizar, posteriormente, as solturas. Para a captura dos insetos utilizamos pinças grandes de Metal. O período de captura ocorreu de 9:00 da manhã às 16:00 da tarde em estruturas peridomiciliares como GAL, CUR, chiqueiros e depósitos e teve suporte contínuo dos agentes de endemias de Posse, já conhecedores das regiões mais comumente infestadas do município.



Figura 9. Indicação das nove localidades onde foram realizadas as coletas. Circulado em vermelho está o centro urbano da cidade de Posse.

Os espécimes coletados foram transportados para o Laboratório de Parasitologia Médica e Biologia de Vetores da Universidade de Brasília (UnB) em tubos falcon de 50 ml. No laboratório os insetos foram identificados por meio das chaves dicotômicas de Lent & Wygodzinsky (1979) e acondicionados em gaiolas apropriadas (bacias plásticas de tamanho médio (± 30 cm de altura e 16cm de diâmetro) cobertas com filó e com folhas de papel filtro em seu interior), Os indivíduos coletados foram mantidos em ambiente de insetário (temperatura média de 30 ± 2 °C, sem controle de umidade), com alimentação diretamente em galinhas (imobilizadas) a cada 15 dias por 30-40 minutos. Esse procedimento foi repetido até obtermos o mínimo de 210 insetos adultos para a realização do experimento de MSR. Os 210 insetos selecionados para a soltura não receberam alimento nos 15 dias que antecederam o início do primeiro evento de MSR. A autorização para realizar o procedimento de alimentação envolvendo triatomíneos e galinhas foi concedida pelo comitê de ética da Universidade de Brasília ao nosso Colaborador Rodrigo Gurgel Gonçalves (nº 346.721).

O experimento de marcação-soltura-recaptura (MSR). Espécimes adultos do *T. sordida* foram marcados com pó fluorescente (DayGlo Color Corp – Cleveland, OH) de diferentes cores. Marcações com pó fluorescente já vem sendo utilizados para estimar parâmetros populacionais de insetos vetores a mais de um século. Esta marcação tem sido muito utilizada em mosquitos, vetores da malária e de arbovírus tais como dengue, zika e febre amarela, mas seu uso em triatomíneos ainda é bastante escasso. Diversos artigos relatam que, em mosquitos, o uso desta marcação não afeta a probabilidade de captura ou de predação dos insetos marcados, assim como não afeta sua longevidade em condições de campo (Service 1993; Muir & Kay 1998; Verhulst et al. 2013). Portanto, com as informações disponíveis na literatura, não há contra indicativo ao uso de pó fluorescentes para ensaios de MSR de insetos vetores.

Tendo em vista que mosquitos tem corpo diminuto e curta longevidade, tornando múltiplas recapturas improváveis, o pó fluorescente é aplicado com o auxílio de borrifadores (Villela et al. 2017). Portanto, o pó fluorescente é aspergido por todo o corpo do inseto. Como triatomíneos são maiores e apresentam maior longevidade, múltiplas recapturas seriam, a priori, possíveis para este grupo de inseto. Desta maneira, para cada soltura foi acrescentada a marcação com uma nova cor de pó fluorescente. Assim, todo o histórico de captura de um indivíduo coletado em campo seria conhecido, tendo sempre o controle de quando e onde o indivíduo foi solto. Para atingir esse objetivo misturou-se aproximadamente 5mg de pó fluorescente com 2ml de água, para obtenção de um produto de consistência pastosa que pudesse ser fixado (um pequeno ponto em destaque) no pronoto dos insetos. A aplicação desse produto se deu por de um pequeno pincel que teve suas cerdas aparadas para permitir um maior controle do tamanho da marcação (Figura 10).



Figura 10. Processo de pintura do pronoto dos triatomíneos utilizando a pasta fluorescente e um pequeno pincel: diferentes cores foram usadas para determinar as datas e pontos de soltura.

Por pouco se saber a respeito da capacidade de deslocamento de triatomíneos adultos em uma pequena escala, foi adotada uma estratégia simples para mensurar essa movimentação, começando pela soltura de espécimes marcados à curtas distâncias (2, 5 e 10m) do seu destino mais provável: o galinheiro (GAL). Tal premissa foi baseada em dados históricos do corpo técnico local de vigilância em saúde visando os triatomíneos, e descrito em detalhes por Rossi et al. (2015). As coletas desses insetos marcados foram realizadas tanto no GAL quanto no curral (CUR), este localizado mais distante do ponto de soltura. A marcação nos insetos é visível à olho nu, mesmo assim todos foram submetidos a luz ultravioleta para confirmação da marcação fluorescente.

No total foram realizados três experimentos de MSR para estimar a movimentação dos triatomíneos, sobrevivência e abundancia. Nós tratamos cada experimento como um Evento.

Evento I: No primeiro evento (17 de julho de 2014 – 1º dia) 210 triatomíneos adultos foram separados em três grupos com 70 indivíduos cada (40 machos e 30 fêmeas), recebendo

uma marcação com cores específicas. Cada grupo foi solto em um determinado ponto ao longo de uma linha reta às distâncias de 2m (marcados em azul), 5m (laranja) e 10m (verde) do GAL. Os mesmos pontos também estavam, respectivamente, à 35, 32 e 27 metros de distância do CUR (Figura 11).

A primeira recaptura foi conduzida na manhã do 15º dia após a soltura. A busca pelos triatomíneos marcados se deu em ambos os anexos peridomiciliares (GAL e CUR). As inspeções foram realizadas por três agentes de saúde local. Os agentes faziam a busca por 30 minutos em um anexo (e.g., GAL), descansavam 10 minutos e voltavam a procurar por mais 30 minutos no mesmo anexo, totalizando 60min de busca. O mesmo procedimento era feito no anexo seguinte (CUR).

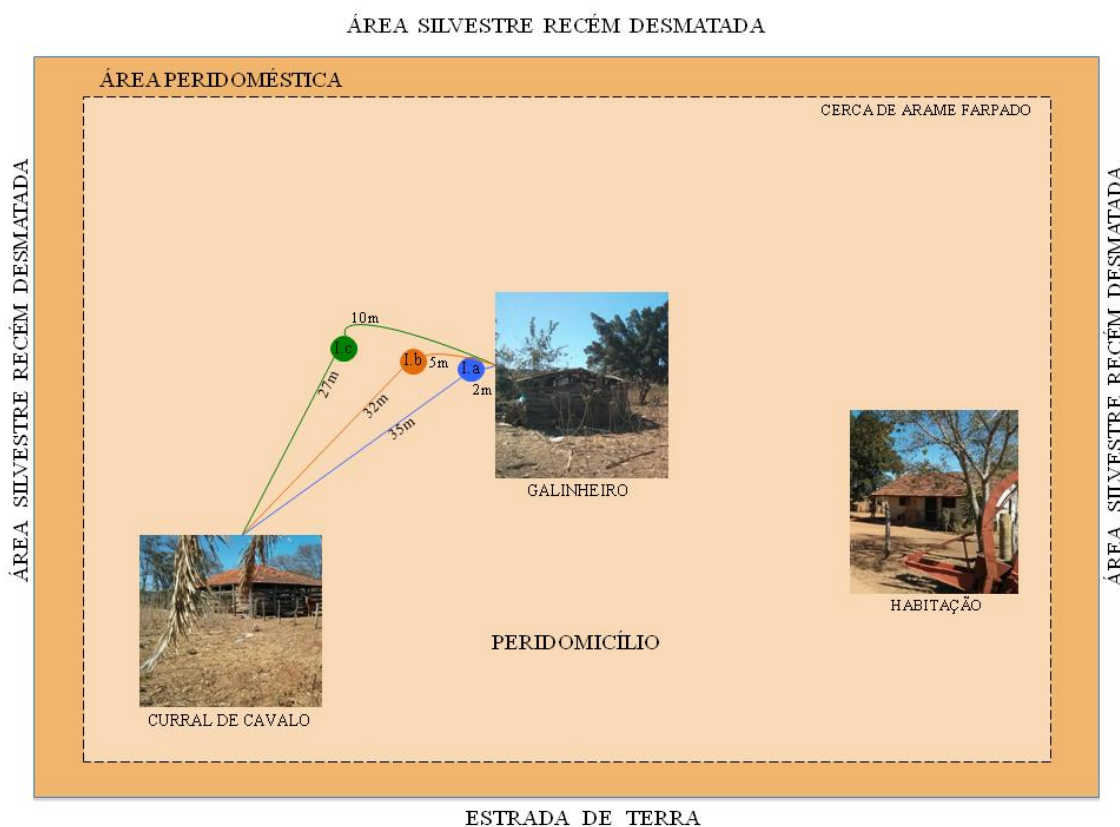


Figura 11. Desenho esquemático da área de estudo, com os pontos de soltura, estruturas peridomiciliares presentes e distâncias testadas. Evento I: triatomíneos foram marcados e liberados à diferentes distâncias do GAL/CUR (azul 2/35m; laranja 5/32m; e verde 10/27m).

Evento II: Como era de se esperar, foram coletados junto a indivíduos marcados, insetos selvagens, sem marcação. Todos os espécimes capturados na manhã do 15º dia foram levados para o centro de endemias da cidade de Posse, onde receberam uma nova marcação de cor roxa no pronoto. Ao anoitecer do 15º dia esses insetos foram soltos à 10m de distância do GAL, que também corresponde à 46m de distância do CUR. Esse novo transecto foi traçado para aumentar a distância de soltura em relação ao CUR, sítio onde houve coleta de um número considerável de triatomíneos após o Evento I, enquanto ainda continuariam dentro do peridomicílio (Figura 12).

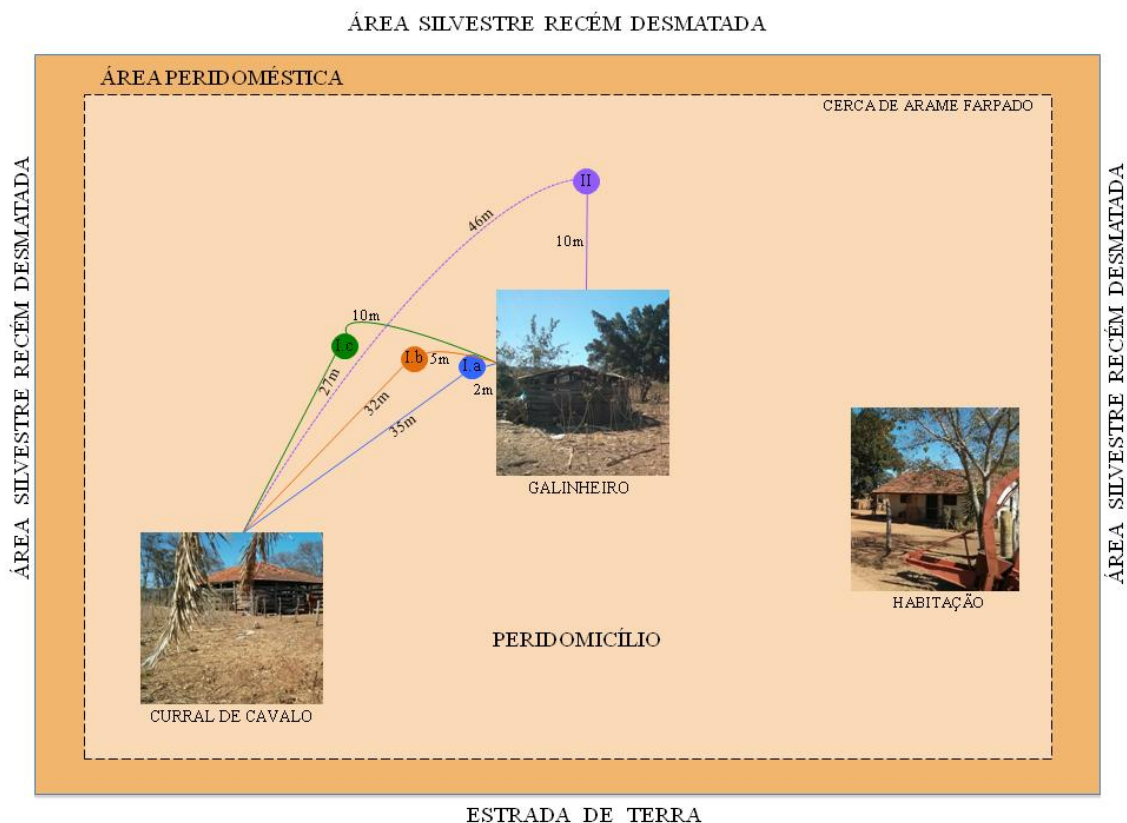


Figura 12. Desenho esquemático da área de estudo, com os pontos de soltura, estruturas peridomiciliares presentes e distâncias testadas. Evento I: triatomíneos foram marcados e liberados à diferentes distâncias do GAL/CUR (azul 2/35m; laranja 5/32m; e verde 10/27m). Evento II: Indivíduos receberam uma marcação roxa e foram liberados à 10/46m de distância do GAL/CUR.

Na manhã do 30º dia, após a primeira soltura, foi realizada a segunda recaptura. Dentre os insetos capturados haviam espécimes provenientes da primeira e segunda soltura, assim como selvagens (não marcados). Todos os insetos foram levados para o centro de endemias de Posse.

Evento III: Os triatomíneos capturados na manhã do 30º dia receberam uma marcação rosa no pronoto, e ao anoitecer do mesmo dia foram soltos a 20m de distância do GAL. Esse ponto apresenta-se distante 56m do CUR (Figura 13).

O terceiro e último dia de recaptura (Figura 14) ocorreu na manhã do 45º dia após a primeira soltura. Uso de diferentes cores para a marcação dos insetos nos permitiu determinar o exato dia em que foram soltos e a distância que foi percorrida por indivíduo.

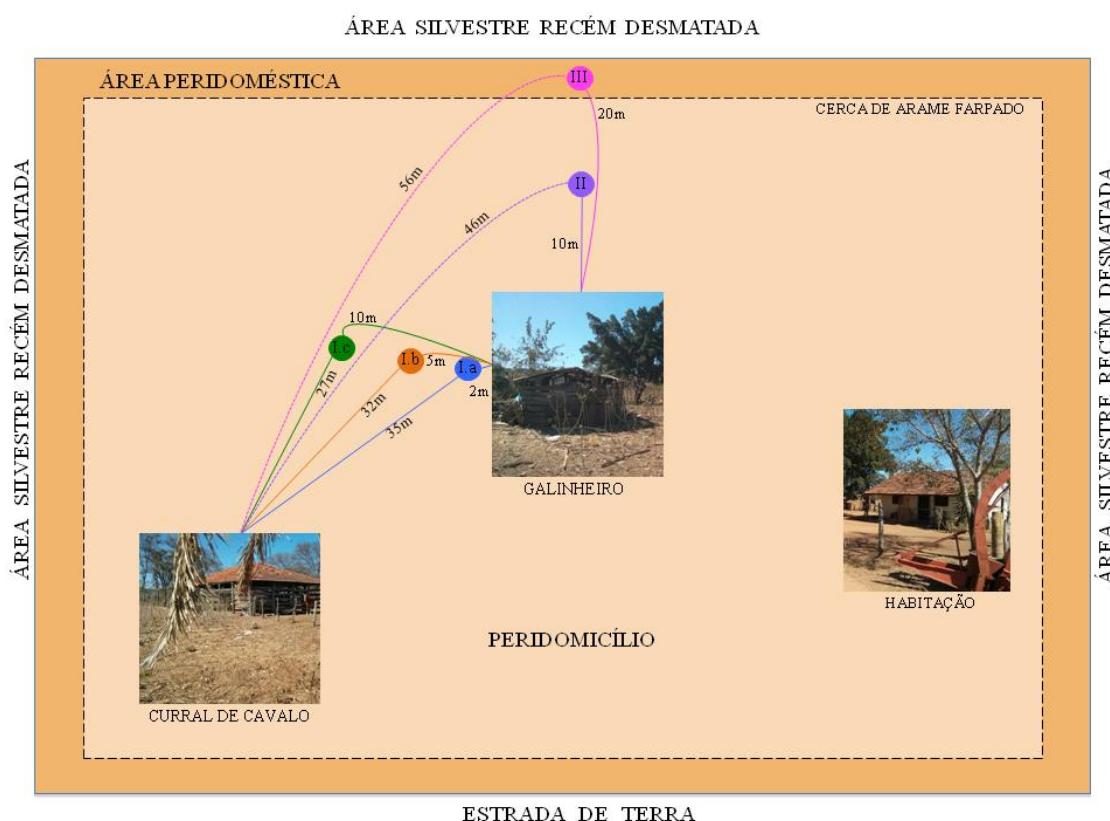


Figura 13. Desenho esquemático da área de estudo, com os pontos de soltura, estruturas peridomiciliares presentes e distâncias testadas. Evento I: triatomíneos foram marcados e liberados à diferentes distâncias do GAL/CUR (azul 2/35m; laranja 5/32m; e verde 10/27m).

Evento II: Indivíduos receberam uma marcação roxa e foram liberados à 10/46m de distância do GAL/CUR. Evento III: Neste momento os insetos receberam uma marcação rosa e foram liberados à 20/56m de distância do GAL/CUR.



Figura 14. *Triatoma sordida* com marcação rosa liberado capturado no galinheiro na manhã do 45º dia. Circulado em amarelo está o tijolo no qual o inseto na foto foi encontrado. O tijolo estava no interior do galinheiro avaliado durante o estudo.

Análise estatística. Nós descrevemos o processo de captura como um modelo Bayesiano, pois a mesma permite a associação de probabilidade a qualquer grau de crença ou incerteza sobre uma quantidade aleatória, evento ou hipótese. Cada captura é descrita por uma sequência de eventos, um histórico de MSR, dependendo do momento da soltura e da ocasião da captura de cada indivíduo. O sítio de captura também faz parte do histórico de captura como uma variável local l (variável dicotômica: CUR, GAL). A probabilidade de captura é descrita por $p_{i,j}$ de histórico i e sexo j (fêmea/macho). Nós modelamos $p_{i,j}$ de tal modo que $\log(p_{i,j}) = \beta_{0,j} + \beta_{1,j}l_i + \beta_{2,j}d_i$, onde d_i é a distância do ponto de soltura para o ponto de captura para o histórico i , $\beta_{0,j}$ é uma intercepção, e $\beta_{1,j}$ e $\beta_{2,j}$ são coeficientes associados com a variável local e distância, respectivamente. As poucas histórias envolvendo múltiplas

recapturas contém múltiplos valores de distância associado à distância de cada recaptura para seu ponto de soltura. O número de recapturas descrito pelo histórico i para sexo j é definido por $N_{i,j} \sim \text{Binomial } R_{i,j}, p_{i,j}\varphi^{n_i}$, onde $R_{i,j}$ é o número de solturas, φ é a probabilidade de sobrevivência durante um período de 15 dias e n_i é o número de intervalos de sobrevivência.

Quatro diferentes modelos Bayesianos foram testados. O primeiro, um modelo simplista (M0) considera somente o índice de sobrevivência e a distância para o local de captura. O segundo modelo (ML) aumenta a complexidade através da adição de informação sobre o local de captura (se o inseto foi capturado no GAL ou CUR). O terceiro modelo (MS) substitui a informação do “local de captura” pela informação sobre o sexo do espécime recapturado. Finalmente, o quarto modelo (MLS) incorpora todos os parâmetros mencionados acima (i.e. distância, índice de sobrevivência, local de captura e sexo). O modelo MS teve o critério de desvio de informação mais baixo (CDI), e posteriormente foi usado em três das quatro análises realizadas. O modelo MSL também foi usado, especificamente para avaliar a probabilidade dos insetos atingirem o GAL ou o CUR.

Os modelos Bayesianos aqui descritos usaram a linguagem BUGS (Spiegelhalter et al. 1993 e 2002). Nós usamos esses modelos para rodar a simulação de Monte Carlo via cadeias de Markov (MCMC) para obter distribuições posteriores para o parâmetro β . Tais distribuições nos permitem obter estimativas para o parâmetro β dada nossas observações em campo, o que explica como a probabilidade de captura é afetada à medida que a distância de soltura aumenta e o local de captura varia (CUR/GAL). Utilizamos distribuições anteriores $\beta_{2,j} \sim \text{Normal}(0, 100)$, $\beta_{1,j} \sim \text{Normal}(0, 100)$, $\exp(\beta_{0,j}) \sim \text{Beta}(2,2)$.

As estimativas de abundância foram obtidas através dos dados gerados à partir dos nossos experimentos de MSR, e para isso usamos o modelo determinístico de Fisher-Ford e Lincoln (Dowdeswell et al. 1940; Service 1993; Villela et al. 2015). Essas estimativas foram comparadas com as obtidas através do modelo Bayesiano de escolha (MS).

Autorização do Comitê de Ética. Este projeto tem a aprovação do comitê de pesquisa ética da Fiocruz (CAEE 11751613.5.0000.5248) e autorização do Departamento de Saúde da cidade de Posse. Antes da soltura dos insetos, os agentes de saúde de Posse ajudaram a selecionar as áreas e casas consideradas com alta infestação de *T. sordida*, permitindo a liberação de insetos durante o estudo. O proprietário da propriedade rural onde os experimentos foram realizados recebeu informações detalhadas sobre os objetivos do projeto e assinou um termo de consentimento informado por escrito (Anexo 1), permitindo a soltura e recaptura dos insetos em sua propriedade. Não nos foi concedido autorização para procurar insetos no interior da casa inserida no estudo.

4.3. Resultados

Das 44 estruturas peridomiciliares inspecionadas no município de posse, 30 (68,2%) estavam positivas para a presença de *T. sordida* (Tabela 1). No total foram coletados 583 espécimes de *T. sordida*, uma média de 19,4 por anexo positivo. Dos 583 insetos coletados temos 368 adultos (232 machos e 136 fêmeas), 143 N5, 42 N4, 8 N3, 2 N2 e 20 N1 (Tabela1).

Tabela 1. Número de anexos visitados e espécimes de *T. sordida* coletados em nove localidades dentro do município de Posse – GO, Brasil, entre os meses de Abril e Maio de 2014.

	Coletas			<i>T. sordida</i>					Total de indivíduos	
	Nº de propriedades Visitadas	Pos / Neg	Adulto M / F	N5	N4	N3	N2	N1		
*Localidades	Brejinho	5	3 / 2	6 / 7	2	1	-	-	3	19
	Coité	2	1 / 1	2 / 6	-	-	-	-	-	8
	Boas tardes	1	1 / -	15 / 19	18	-	-	-	4	56
	Campo Aberto	1	1 / -	19 / 9	13	9	-	-	-	50
	Empoeiras	10	8 / 2	50 / 27	33	3	8	2	-	123
	Marmelada	2	- / 2	- / -	-	-	-	-	-	-
	Periquito	7	3 / 4	8 / 3	11	7	-	-	-	29
	São Joaquim	4	3 / 1	34 / 7	10	15	-	-	-	66
	**Trombas	12	10 / 2	98 / 58	56	7	-	-	13	232
Total	9	44	30 / 14	232 / 136	143	42	8	2	20	583

*As nove localidades foram escolhidas com base no conhecimento prévio dos agentes de endemias envolvidos no controle da DCH no município de Posse – GO. Esta coleta tinha como objetivo a obtenção de um número suficiente de insetos para realização dos experimentos de MSR. **Trombas é a localidade onde se encontra a habitação rural participante do estudo.

Dos 210 insetos soltos no primeiro evento de MSR (1º dia) 16 (7,6%) foram recapturados no 15º dia pela manhã. Desses 16 insetos, 10 (8 machos e 2 fêmeas) foram coletados no GAL, enquanto que os 6 restantes (1 macho com marcação laranja que foi solto no 1º dia à 5m de distância do GAL, e 4 machos e 1 fêmea com marcação verde que foram soltos no 1º dia à 10m de distância do GAL) foram recapturados no CUR (Tabela 2). Assim

sendo 37,5% dos indivíduos marcados recapturados foram encontrados no CUR, o qual se encontra à 27-32m de distância dos pontos de soltura, enquanto que os mesmos pontos estavam mais próximos do GAL (Figura 11, Tabela 2). Adicionalmente capturamos 10 novos indivíduos não marcados no GAL. Não foram encontrados insetos não marcados no CUR.

No segundo evento de MSR tivemos 25 insetos recebendo uma marcação roxa (15 deles receberam a segunda marcação e 10 estavam recebendo a marcação pela primeira vez, pois eram indivíduos nativos e, portanto, sem marcação prévia) e foram soltos no 15º dia à distâncias de 10 e 46 metros do GAL e CUR, respectivamente. Na manhã do 30º dia nós recapturamos seis insetos marcados, sendo quatro deles (3 machos e 1 fêmea) originários da primeira soltura (1º dia) e recapturados pela primeira vez, dois insetos recapturados pela segunda vez, e 18 não marcados (Tabela 2).

No terceiro evento de MSR, 24 indivíduos (seis deles já haviam sido capturados no primeiro e/ou segundo evento MSR, e 18 novos espécimes não marcados) receberam uma marcação de cor rosa no pronoto, mas somente 23 (um dos insetos morreu a caminho do local de soltura) foram soltos à 20 e 56 metros de distância do GAL e CUR, respectivamente (Tabela 2). Neste ponto do experimento, haviam insetos com uma, duas ou três marcações. Esse cenário nos permitiu determinar a distância de origem desses insetos e qual o tempo de sobrevivência no campo dos mesmos. Na manhã do 45º dia, nós recapturamos no GAL cinco insetos marcados, sendo dois machos provenientes da primeira soltura (1º dia), um solto à 2/35 metros (marcação azul) e outro à 10/27 metros (marcação verde) de distância do GAL/CUR, respectivamente. Os outros três triatomíneos restantes possuíam a marcação rosa e então tinham como ponto de origem os 20/56 metros de distância do GAL/GUR, respectivamente. Todos os indivíduos capturados no dia 45 foram encontrados no GAL. Não foram capturados indivíduos não marcados no dia 45 em ambas as estruturas (GAL e CUR).

Tabela 2. Identificação das marcações e o número de adultos de *T. sordida* usados em três experimentos de MSR com respeito as distâncias de soltura para o galinheiro (GAL) e curral (CUR) realizadas dentro de um período de 45 dias.

Evento	Marcação	Soltura	Distância GAL	Distância CUR	M / F	Recaptura	M / F Marcados GAL	M / F Marcados CUR	M / F Selvagens (Ñ Marcados)*
Primeiro MRR	⊙	1º Dia	2m	35m	40 / 30	15º Dia	2 / 1	-	
	⊙	1º Dia	5m	32m	40 / 30	15º Dia	5 / 1	1 / -	3 / 7
	⊙	1º Dia	10m	27m	40 / 30	15º Dia	1 / -	4 / 1	
Segundo MRR	⊙	1º Dia	2m	35m	-	30º Dia	2 / 1	-	
	⊙	1º Dia	5m	32m	-	30º Dia	- / 1	-	
	⊙	1º Dia	10m	27	-	30º Dia	-	-	
	⊙	15º Dia	10m	46m	3 / 7	30º Dia	-	-	13 / 5
	⊙⊙	15º Dia	10m	46m	2 / 1	30º Dia	-	-	
	⊙⊙	15º Dia	10m	46m	6 / 1	30º Dia	1 / -	-	
	⊙⊙	15º Dia	10m	46m	4 / 1	30º Dia	- / 1	-	
Terceiro MRR	⊙	1º Dia	2m	35m	-	45º Dia	1 / -	-	
	⊙	1º Dia	5m	32m	-	45º Dia	-	-	
	⊙	1º Dia	10m	27m	-	45º Dia	1 / -	-	
	⊙	15º Dia	10m	46m	-	45º Dia	-	-	
	⊙⊙	15º Dia	10m	46m	-	45º Dia	-	-	
	⊙⊙	15º Dia	10m	46m	-	45º Dia	-	-	
	⊙⊙	15º Dia	10m	46m	-	45º Dia	-	-	
	⊙	30º Dia	20m	56m	12 / 5	45º Dia	2 / -	-	-
	⊙⊙	30º Dia	20m	56m	-	45º Dia	-	-	
	⊙⊙	30º Dia	20m	56m	2 / 1	45º Dia	- / 1	-	
	⊙⊙	30º Dia	20m	56m	- / 1	45º Dia	-	-	
	⊙⊙	30º Dia	20m	56m	-	45º Dia	-	-	
	⊙⊙⊙	30º Dia	20m	56m	-	45º Dia	-	-	
	⊙⊙⊙	30º Dia	20m	56m	1 / -	45º Dia	-	-	
	⊙⊙⊙	30º Dia	20m	56m	- / 1	45º Dia	-	-	

*Insetos selvagens não foram encontrados no curral durante as buscas, sendo todos provenientes da captura no galinheiro.

A probabilidade de captura, quando considerado o sexo, se mostra um pouco enviesada e, portanto, pouco conclusiva. Isso porque as fêmeas foram capturadas com maior frequência no GAL do que no CUR. O índice de recaptura para os machos está próximo de 1 e a distribuição muito ampla indica que parece não haver preferência entre o GAL ou CUR (Figura 15A). Quando analisada a probabilidade de captura, a mesma mostrou uma relação inversamente proporcional à distância (dos pontos de soltura para os locais de coleta), como esperado. A probabilidade de captura diminuiu por fatores dados na **Figura 15B**, tanto para machos quanto para fêmeas. Tal análise mostra que a distância é um fator limitante para a dispersão do *T. sordida*, especialmente para fêmeas dessa espécie. Embora corram um risco maior de serem predados ao percorrer distâncias mais longas para atingir o CUR, nenhuma diferença estatística foi detectada entre a probabilidade de sobrevivência quando machos e fêmeas foram comparados (Figura 15C).

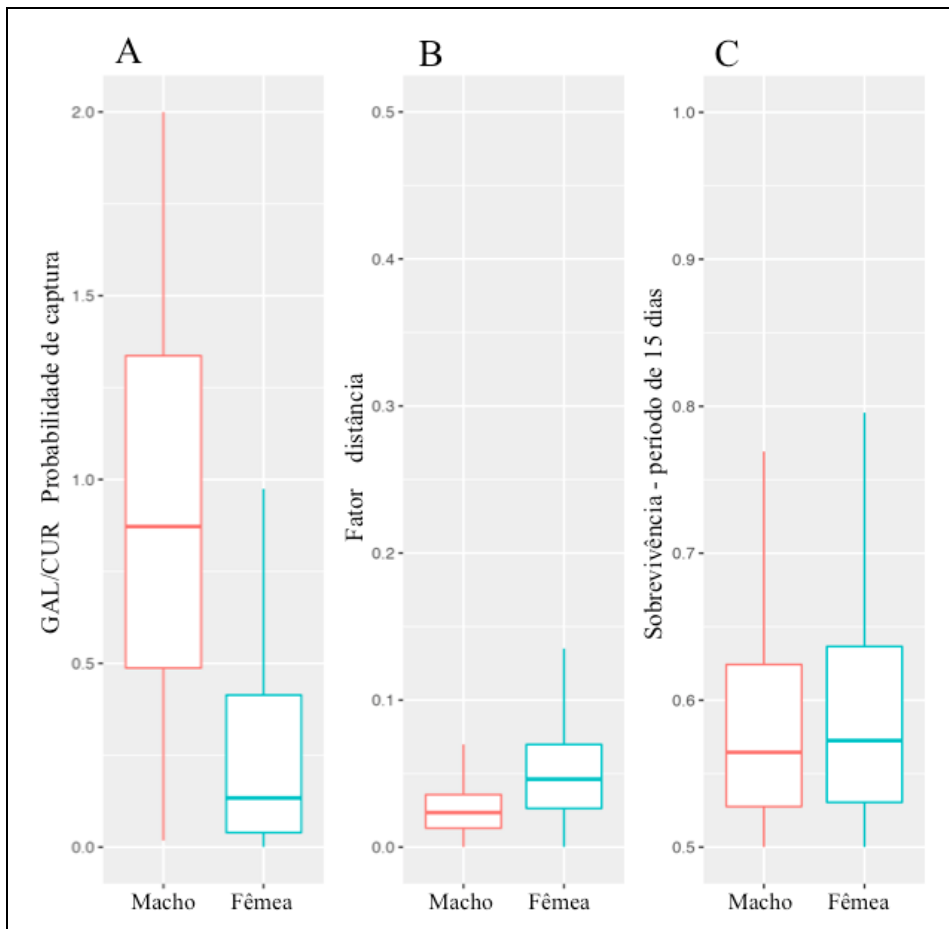


Figura 15. Modelos Bayesianos: A) Probabilidade de captura no galinheiro/curral para machos e fêmeas (Modelo MSL); B) Efeito da distância entre os pontos de soltura e recaptura sobre a probabilidade de *T. sordida* alcançar uma das estruturas peridomiciliares (Modelo MS); C) Probabilidade de sobrevivência de machos e fêmeas para 3 períodos de 15 dias (Modelo MS).

Com base nos resultados vistos na **Figura 15B**, um gráfico foi gerado para descrever as probabilidades associadas com a habilidade de *T. sordida* alcançar ambas as estruturas peridomiciliares à distâncias de até 100 metros (Figura 16). No entanto, ainda existe uma pequena possibilidade desses insetos alcançarem o GAL ou o CUR, mesmo em distâncias maiores.

Como esperado, a probabilidade de atingir uma estrutura peridomiciliar diminui com o aumento da distância. Mas essa probabilidade parece ter sido influenciada pelo sexo do inseto. Por exemplo, para uma distância de 20 metros, insetos machos apresentaram uma probabilidade de aproximadamente 60% de alcançar estruturas tais como GAL ou CUR, enquanto que para fêmeas esta chance ficou em torno de 40%.

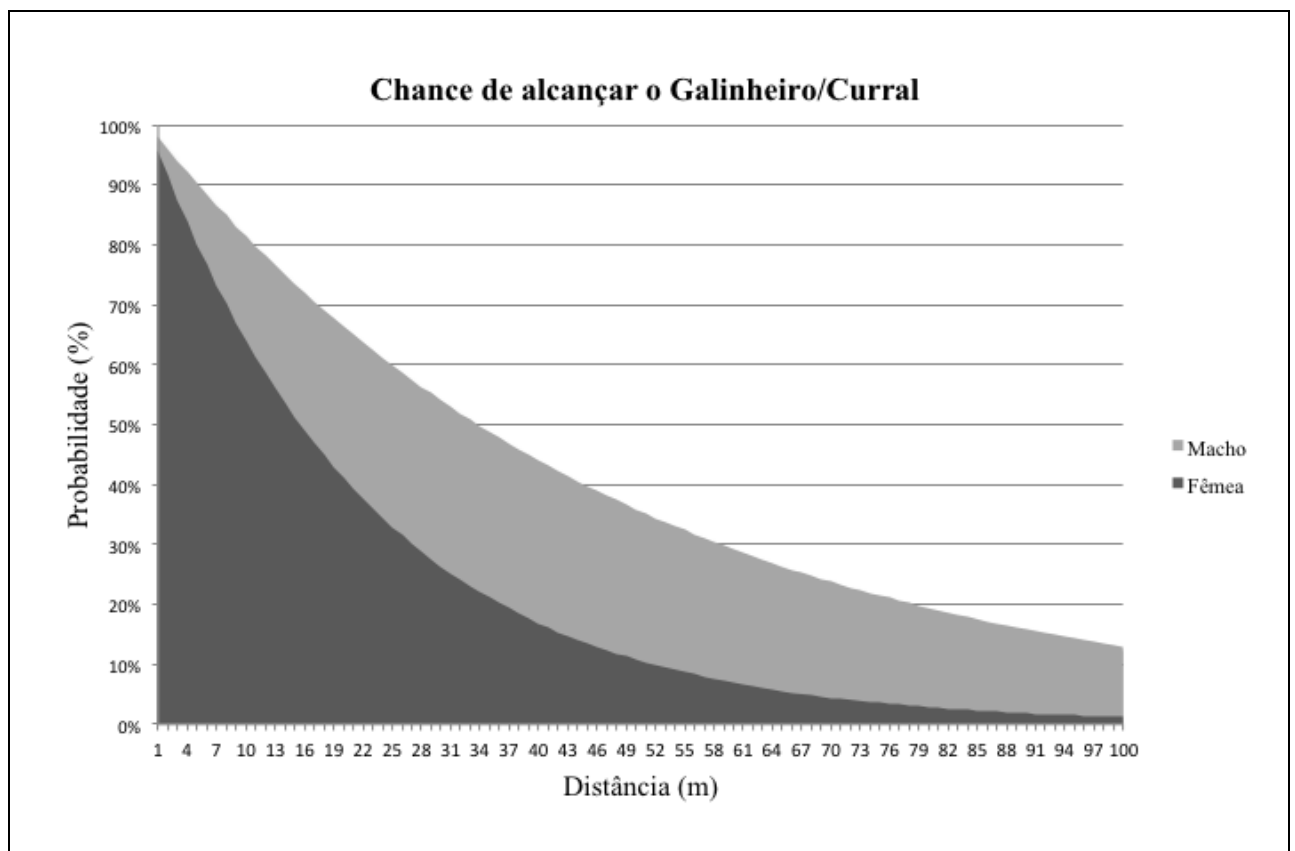


Figura 16. Chance dos espécimes adultos de *T. sordida* alcançarem qualquer uma das duas estruturas peridomiciliares (galinheiro – GAL ou curral – CUR) considerando as diferentes distâncias.

Em estatística Bayesiana, um intervalo de credibilidade (ou probabilidade) é um intervalo de probabilidade *a posteriori*, que se assemelha em finalidade ao intervalo de

confiança quando se faz uso da estatística clássica (MacKenzei 2006). As estimativas baseadas no modelo determinista de Fisher-Ford estavam contidas no intervalo de credibilidade do modelo Bayesiano (Modelo MS). Por outro lado, as estimativas para o modelo de Lincoln ficaram além do intervalo de credibilidade bayesiano (por exemplo, o intervalo de credibilidade durante a segunda recaptura apontou para 18-136 machos, enquanto a estimativa de Lincoln foi de 780 machos; Tabela 3). Estimativas discrepantes estão relacionadas com a natureza deste modelo determinista, que leva em consideração apenas o número de recapturas durante o MSR para estimar o tamanho populacional.

Observou-se um grande aumento das estimativas de abundância entre o primeiro e o segundo evento de recaptura (Tabela 3). Parece improvável que essa discrepância resulte do aumento do tamanho da população real, mas sim devido à coleta de triatomíneos "residentes" anteriormente não capturados durante o segundo evento de recaptura.

Tabela 3. Abundância relativa de *Triatoma sordida* com base em um modelo Bayesiano (MS) e métodos determinísticos de Fisher-Ford e Lincoln.

Estimativa de abundância	Modelo Bayesiano			Fisher-Ford	Lincoln
	Média	Mediana	Intervalo de credibilidade	Estimativa	Estimativa
População / Ocasão (1° ou 2° recaptura)					
macho / 1° recapture	29	24	10 - 73	32	105
macho / 2° recaptura	53	45	18 - 136	70	780
fêmea / 1° recaptura	12	9	4 - 41	40	135
fêmea / 2° recaptura	21	15	6 - 69	40	450

4.4. Discussão

Os resultados apresentados neste capítulo sobre a capacidade de dispersão de espécimes adultos de *Triatoma sordida*, no peridomicílio de uma habitação em zona rural do centro-oeste brasileiro, foram obtidos com a implementação de uma técnica tradicional em estudos ecológicos: a marcação-soltura-recaptura (MSR). Com o desenvolvimento de um sistema de marcação eficiente, usando marcadores de longa duração e diferentes cores que podem ser adicionadas sistematicamente ao pronoto de insetos recapturados, fomos capazes de gerar informações inéditas e relevantes sobre a dispersão e dinâmica da população de *T. sordida* neste contexto. Esse tipo de informação – movimentação de triatomíneos em uma escala micro-geográfica - embora de relevância epidemiológica óbvia, tem recebido pouca atenção ao longo dos anos.

A descoberta mais importante deste estudo foi a determinação de que, em um intervalo de 45 dias, espécimes adultos de *T. sordida* liberados na área peridomiciliar de uma típica casa rural no centro-oeste do Brasil são capazes de se dispersar ativamente por distâncias de até 32 metros. As pistas que definem a orientação dessa dispersão não são claras, uma vez que, ao contrário da expectativa de que os insetos seriam mais propensos a se mover para o GAL mais próximo, alguns indivíduos se deslocaram por distâncias superiores em direção ao CUR. Este é um achado importante, pois desafia a crença de que *T. sordida* tem marcada preferência por aves como fonte de alimentação.

A observação de que há uma aparente descontinuidade no sucesso de captura, dentro de um período de 45 dias, a uma distância de 32 metros, é de especial interesse epidemiológico. Esta descoberta é corroborada pelos resultados dos modelos estatísticos desenvolvidos a partir de dados empíricos. O foco principal de iniciativas multinacionais de controle da doença de Chagas tem se baseado na borrifação de casas e estruturas peridomiciliares com inseticidas residuais (Silveira & Dias 2011). No entanto, populações

silvestres de insetos triatomíneos podem migrar e colonizar novamente as mesmas estruturas peridomiciliares logo após as atividades de controle (Abad-Franch et al. 2005; Grijalva et al. 2011).

A avaliação da infestação por *T. sordida* em 406 habitações rurais do Sudeste do Brasil levou à coleta de 772 insetos antes da borrifação de inseticida, sendo 98% desses insetos capturados no peridomicílio (Diotaiuti et al. 1998). Um número semelhante de insetos foi capturado nas duas coletas realizadas após a borrifação (7 e 12 meses depois). Observou-se que 62,9% dos *T. sordida* capturados na área peridomiciliar estavam localizados próximos à área silvestre (12 a 300 metros). Os autores atribuíram o encontro desse número elevado de espécimes após a borrifação à sobrevivência dos insetos locais e a migração de indivíduos oriundos do ambiente silvestre (Diotaiuti et al. 1998). Embora informativo, a não utilização de uma técnica de marcação impediu os autores de tirar conclusões mais objetivas com base nos dados obtidos. Além disso, parece que a redução da capacidade de dispersão de *T. sordida* teria impedido a dispersão em áreas maiores. Portanto, seria mais plausível supor que os insetos coletados após pulverização constituíam uma população recrutada composta por indivíduos sobreviventes à aplicação do inseticida.

A observação direta de MSR revelou as distâncias máximas percorridas de 27 e 32 metros como sendo a máxima percorrida para uma estrutura peridomiciliar por fêmeas e machos (um indivíduo cada). Como esperado, a probabilidade de atingir o GAL ou o CUR depende fortemente da distância. GAL artificiais colocados diretamente no ambiente silvestre tornaram-se facilmente infestados pelas populações selvagens de *T. sordida* (Forattini et al. 1973). Portanto, uma iniciativa prática para reduzir a taxa de contato entre hospedeiros humanos e insetos triatomíneos seria a construção de estruturas peridomiciliares como galinheiros o mais distante possível do intradomicílio.

Embora o nosso estudo tenha apenas foco na área peridoméstica, é razoável supor que existe a possibilidade de indivíduos oriundos do ambiente silvestre se deslocarem até o peridomicílio e dali seguir para uma estrutura peridomiciliar. Nesse cenário, as estruturas peridomiciliares podem atuar como "Stepping-stones" em relação a qualquer estrutura domiciliar. Quanto maior a distância entre estas três áreas (ambiente silvestre - estruturas peridomiciliar - estrutura domiciliar), menor a probabilidade de colonização no domicílio. Dentro desta linha de raciocínio, a **Figura 16** mostra, por exemplo, que se posicionada a pelo menos 55 metros de distância, a probabilidade de colonização do GAL ou CUR, por espécimes machos e fêmeas de *T. sordida* cai para valores inferiores a 30 e 10%, respectivamente.

Os dados históricos sobre a movimentação de triatomíneos baseiam-se em uma variedade de métodos de marcação, técnicas de captura e análise de dados, que comprometem a comparação direta dos resultados gerados. Em geral, foram produzidas provas limitadas em relação a capacidade de dispersão ativa desses insetos, com a maioria dos dados disponíveis focados na capacidade de voo desses vetores.

Gómez-Núñez (1969) foi um dos primeiros a abordar a questão da dispersão micro-geográfica dos triatomíneos e da ponte entre os ciclos de transmissão silvestre e domiciliar. Ao marcar internamente espécimes de *Rhodnius prolixus* com minúsculos fios de CO60 cobertos de ouro e rastreá-los com um contador Geiger e um cintilador, ele observou o movimento desses insetos entre palmeiras e casas em uma área rural na Venezuela. Durante 40 dias, a dispersão de *R. prolixus* foi motivada principalmente por busca de recursos alimentares e não excedeu 15 metros. Além disso, a dispersão apresentou perfil unidirecional, das palmeiras para as casas (Gomez-Núñez 1969). Um estudo recente (Erazo & Cordovez 2016) sugere, através de modelos matemáticos, que quanto mais próximo a palmeira se encontra de uma casa, maior é a chance dessa casa ser visitada por *R. prolixus*.

Schofield et al. (1991) realizaram um experimento de MSR com adultos de *T. sordida* em uma grande salina da Argentina com o objetivo de verificar o comportamento desses insetos em relação a dispersão pelo voo. A maioria dos insetos liberados não foi recapturado, sugerindo que a capacidade de dispersão dos mesmos seria superior a 200 metros nessa paisagem específica. Lehane e Schofield (1981) realizaram experimentos de MSR, utilizando machos de *T. infestans* com marcação fluorescente e observaram que os insetos podiam se dispersar ativamente por voo, alcançando distâncias superiores a 100 metros. Esses experimentos foram realizados em campo, em localidades no Brasil e Argentina. Em ambos os trabalhos citados acima, os experimentos de MSR foram desenhados para avaliar a iniciação do voo, sendo utilizado uma plataforma (tijolo) que pudesse auxiliar os insetos a alçar voo. Durante o presente experimento, os insetos foram liberados diretamente no solo, sem qualquer barreira que não fosse natural (e.g.; plantação de aipim/macaxeira e pequenos arbustos presentes na área) ou plataforma que pudesse incitar o voo, portanto, considerou-se que esses insetos tenham realizado seu deslocamento caminhando.

O presente estudo não deve ser comparado diretamente com as investigações anteriores devido à importantes diferenças nas hipóteses testadas e nos desenhos experimentais adotados. Tais experimentos buscaram determinar a dispersão de insetos por voo em um cenário de "fuga de um ambiente inóspito com auxílio de plataforma de lançamento". Os resultados do presente trabalho devem ser interpretados como uma tentativa de representar, ao máximo, o ambiente natural. Desta maneira não foram utilizadas plataformas de lançamento e tampouco a liberação dos insetos ocorreu em ambientes tão inóspitos que favoreceriam o deslocamento do vetor.

Os insetos poderiam ter dispersado (voador) além da distância máxima de 56 metros investigada aqui? Possivelmente, embora esta questão tenha ultrapassado o âmbito do presente trabalho. No entanto, as evidências disponíveis sugerem que, na ausência de uma

plataforma de lançamento, o *T. infestans* adulto não costuma decolar espontaneamente do nível do solo, como observado pela falta de adultos para superar uma barreira física e retornar às cabanas experimentais (Gurevitz et al. 2006). Além disso, Forattini et al. (1973) demonstraram que, embora o *T. sordida* oriundo do ambiente silvestre possa invadir e colonizar galinheiros experimentais em áreas desmatadas do Cerrado, a dispersão na direção oposta foi insignificante - apenas um inseto (de 172 espécimes) voltou para a área silvestre. Isso indica que *T. sordida* provavelmente se deslocará em direção a locais que lhes forneça alimento e abrigo, e não para longe dele (Schofield 1994).

A obtenção de resultados obtidos a partir de ensaios ecológicos conduzidos no ambiente natural de vetores permite a extrapolação para outros pontos da mesma paisagem. Por isso, todo o cuidado em replicar as condições naturais de áreas rurais do Cerrado, escolhendo para tal um sítio específico que tivesse duas fontes naturais de atração para triatomíneos: um GAL e um CUR. Portanto, acreditamos que os *T. sordida* liberados provavelmente tenham alcançado GAL e CUR de forma ativa (i.e., caminhando). O voo diretamente do solo parece improvável, visto que os insetos foram monitorados por dez minutos após serem liberados e nenhum deles alçou voo, para quaisquer direções.

Na literatura existem diversos trabalhos sobre estimativas de abundância, sobrevivência e outros parâmetros populacionais para animais selvagens (MacKenzie 2006). Muitos métodos, no entanto, enfrentam limitações quando aplicados em insetos vetores tais como mosquitos, pulgas e piolhos. Por exemplo, se a espécie-alvo apresenta curta longevidade (por vezes, menor que uma semana), raramente uma marcação individual é factível, assim como um único ponto de soltura em ensaios de MSR, além da dificuldade de realizar múltiplas recapturas com o mesmo indivíduo (Villela et al. 2017). Tais limitações têm como consequência a impossibilidade de se usar modelos mais robustos para gerar as estimativas de interesse. Contudo, o desenho experimental utilizado em nosso trabalho, principalmente

devido ao uso de diferentes cores para caracterizar os diferentes pontos de soltura e os eventos (tempo), nos permitiu importantes estimativas, como (1) a probabilidade de captura em função da distância para o GAL e o CUR, (2) a sobrevivência de triatomíneos, e (3) a densidade populacional desses insetos na área estudada.

O conhecimento a respeito da sobrevivência de um vetor é de fundamental importância para estimar o tempo que esse inseto, uma vez infectado, pode vir a transmitir um patógeno a um hospedeiro suscetível. Nosso modelo de sobrevivência mostrou que não há diferença nas taxas de sobrevivência entre indivíduos machos e fêmeas durante um intervalo de 15 dias. Surpreendentemente, os resultados indicam que os machos de *T. sordida* possuem uma capacidade de movimentação maior e, portanto, podem colonizar as estruturas peridomiciliares mais efetivamente do que as fêmeas. Portanto, observações empíricas em campo sugerem que nosso ensaio de MSR tenha sido o primeiro a demonstrar que o sexo *per se* pode influenciar a probabilidade de colonização do peridomicílio por *T. sordida*.

As estimativas de abundância de *T. sordida* para os dois primeiros eventos de recaptura mostram que o número de adultos de ambos os sexos aumentou significativamente em cada período de 15 dias de acordo com os métodos Bayesiano, Lincoln e Fisher-Ford (excluindo estimativas de Fisher-Ford para fêmeas). Este aumento súbito no tamanho da população é improvável que seja real, mas sim reflexo da coleção de insetos selvagens previamente não capturados no seguinte evento de recaptura. Entre os métodos utilizados para estimar o tamanho da população de *T. sordida*, o método de Lincoln deu resultados discrepantes, pois apontaram para um aumento de 7,4 vezes no tamanho da população de insetos machos em um período de 15 dias. Uma possível explicação para a discrepância do método de Lincoln é que a probabilidade de sobrevivência não foi considerada, apenas os números de indivíduos liberados e recapturados. Daí se torna explícito a importância de métodos probabilísticos e ou Bayesianos frente aos determinísticos para gerar estimativas de densidade.

A implementação de técnicas de MSR para estimar a capacidade de dispersão de triatomíneos vetores pode melhorar significativamente as estratégias de controle de vetorial, determinando, por exemplo, a distância dentro da qual os insetos selvagens são mais propensos a colonizar as estruturas peridomiciliares, como GALs ou CURs. Os espécimes de *T. sordida* adultos mostraram uma capacidade de dispersão, dentro de 45 dias, limitada a 32m do ponto de liberação, não sendo coletada além desse limiar. Portanto, aumentar a distância tanto quanto possível entre as estruturas peridomiciliares e o ambiente silvestre, bem como das estruturas peridomiciliares e do domicílio, parece ser uma prática simples e viável para reduzir a taxa de contato entre humanos e insetos infectados e, por consequência, a transmissão da doença de Chagas.

4.5. Artigo publicado na revista Parasites & Vectors

Dantas et al. *Parasites & Vectors* (2018) 11:14
DOI 10.1186/s13071-017-2560-3

Parasites & Vectors

RESEARCH

Open Access

Should I stay or should I go? Movement of adult *Triatoma sordida* within the peridomestic area of a typical Brazilian Cerrado rural household



Edson Santos Dantas^{1,2}, Rodrigo Gurgel-Gonçalves³, Daniel Antunes Maciel Villela⁴,
Fernando Araújo Monteiro^{2*†} and Rafael Maciel-de-Freitas^{1*†}

Abstract

Background: Chagas disease, or American trypanosomiasis, is an important neglected tropical illness caused by the flagellate protozoan *Trypanosoma cruzi*, which is primarily transmitted to humans by hematophagous insects of the subfamily Triatominae. Although knowledge on triatomine movement capabilities at the micro-geographical scale is of fundamental importance concerning the development of effective vector control strategies, it remains a poorly understood subject. Furthermore, survival rates and size estimates of natural populations are important topics to consider when evaluating transmission intensity.

Results: The movement of adult *Triatoma sordida* within the peridomestic area of a rural Brazilian household was evaluated via mark-release-recapture assays. A total of 210 insects had their pronota marked with fluorescent dyes and were released at different distances from the chicken coop (two, five, ten and 20 m), and from the horse corral (27, 32, 35, 46 and 56 m). Recaptures occurred in three consecutive 15-day intervals. Specimens were successfully recaptured at all distances up to 32 m. Bayesian models were used to estimate recapture probability, survival rates (males vs females) and population size. Although recapture probability was inversely proportional to distance for both sexes, females were more affected by increased distance. On the other hand, no significant difference was detected in the survival rates between males and females in a 15-day period. Fisher-Ford and Bayesian models gave more accurate population size estimates than Lincoln method.

Conclusions: *Triatoma sordida* adults were able to cover a distance of 32 m in 45 days. Recapture data modelling reveals that male dispersal was more effective suggesting that *T. sordida* males are more likely to contribute as potential colonizers of the peridomestic environment. Increasing the distance between the peridomestic structures and the sylvatic environment as much as possible appears to be a simple and feasible recommendation to reduce the contact rate between humans and infected bugs and ultimately Chagas disease transmission.

Keywords: Chagas disease, Movement, Dispersal, Vectorial capacity, *Triatoma*, Reduviidae, *Trypanosoma cruzi*

* Correspondence: fam@ioc.fiocruz.br; freitas@ioc.fiocruz.br

†Equal contributors

²Laboratório de Epidemiologia e Sistemática Molecular, Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz (IOC/ FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brazil

¹Laboratório de Transmissão de Hematozoários, Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz (IOC/ FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brazil

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2018 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

Background

Chagas disease, or American trypanosomiasis, is an important neglected tropical disease caused by the flagellate protozoan *Trypanosoma cruzi*. This pathogen is most commonly transmitted to humans via the contact of infected faeces of hematophagous insects of the subfamily Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) with the host's mucous membranes [1, 2]. Other modes of transmission that have recently received attention include blood transfusion and ingestion of contaminated fruit juices [3, 4]. The former has led to the dissemination of the disease to developing countries where there is no transmission cycle, such as Spain and Japan [5, 6], and the latter has contributed to the generation of acute per os micro-epidemics in rural areas of northern Brazil [7].

Triatoma sordida (Stål, 1859) is the Chagas disease vector most frequently captured in the peridomestic environment in Brazil, particularly in areas where *Triatoma infestans* (Klug, 1834) has been eliminated by the Southern Cone Initiative [8, 9]. Knowledge of triatomine dispersal capabilities is key to the understanding of population dynamics and vector control. Although there is information available on the genetic structure and dispersal capabilities of *T. sordida* populations from Bolivia and Brazil at the macrogeographical level (inferred based on molecular markers, e.g. [10–13]), very little is known about small-scale triatomine dispersal (e.g. [14, 15]).

Information on triatomine dispersal capabilities at the micro-geographical level is of fundamental importance concerning the development of effective vector control strategies. The distance between the sylvatic and the domestic habitats seems to be a key factor that governs the success of the insect's dispersive process [16, 17]. Surely, the ability of triatomine bugs to move (either by flight or simply crawling) within the peridomestic area and eventually invade and colonize human dwellings is of special interest [18].

Although survival rates and size estimates of natural populations are important topics to consider when evaluating transmission intensity, both have, to date, received little attention. The generation of reliable information on the abundance of triatomine populations is of great relevance as it provides estimates of recrudescing populations thus allowing for the evaluation of the effectiveness of vector control campaigns. The dispersal of *T. sordida*, for instance, has been studied in specific landscapes such as salt-flats (Salinas), or with the aid of experimental hen houses [19, 20]. The few estimates available suggest some individuals may present a long flight, with collection > 100 m from release point [19, 20].

The most effective technique for estimating insect dispersal capabilities, survival rates and population sizes, at the microgeographic scale, is the mark, release and recapture (MRR) method. It requires, however, that the

long-lasting markers do not affect insect behaviour or survival, and also that released insects become randomly mixed within the local native population [21].

Because very little is known regarding the ability of anthropophilic bugs to disperse over small areas, we address this issue by focusing our investigation on the specific area referred to as the peridomicile. It is defined as the existing space situated in between the sylvatic and the domestic areas. The peridomicile is of particular epidemiological relevance as it is believed to serve as the liaison between sylvatic and domestic transmission cycles. Here, the dispersal capability of adult *T. sordida* within the peridomestic area of a rural Brazilian household was evaluated via mark-release-recapture assays. Furthermore, survival rates and size estimates of natural populations were analyzed.

Methods

Study area

The study was conducted in one specific rural area in Posse, Goiás State, Brazil. This district is located at approximately 320 km from the capital, Brasília (Fig. 1). It encompasses an area of 2058.03 km² and supports a population of approximately 35,000 inhabitants [22]. The vegetation is that of the Cerrado, a vast tropical plateaued savanna area that is the second largest Brazilian biome. It is a typical poor rural area with simple houses made of bricks and clay roof tiles. It is common to see peridomestic structures such as chicken coops (CC), horse corrals (HC), pigsties, and corn storage units in the region.

The household chosen for the experiment had two peridomestic annexes: a CC and an HC. The CC was 1.7 m high with an area of approximately 7.0 m². Walls made with old timber were covered by an asbestos roof. The CC offered refuge to about eight chickens. A *T. sordida* colony was present. A rat nest was detected outside of one of the walls in an old tire with ragged cloth inside which was negative for the presence of triatomines. The HC was 3.5 m high with an area of approximately 90.0 m² covered by a clay tile roof that provided shelter for two horses. Inside the HC there were small piles of timber where *T. sordida* specimens were found.

Triatoma sordida field-collection and laboratory rearing

Triatomine collection was performed during five separate days from early April to late May of 2014 in 44 different rural properties in nine villages located on the surroundings of Posse district. The main objective of this field collections was to obtain enough insects to start a laboratory colony for further MRR experiments. Insects were captured manually with the aid of metal tweezers, from 9:00 am until 4:00 pm in peridomestic structures such as CC, HC, pigsties and corn storage units.

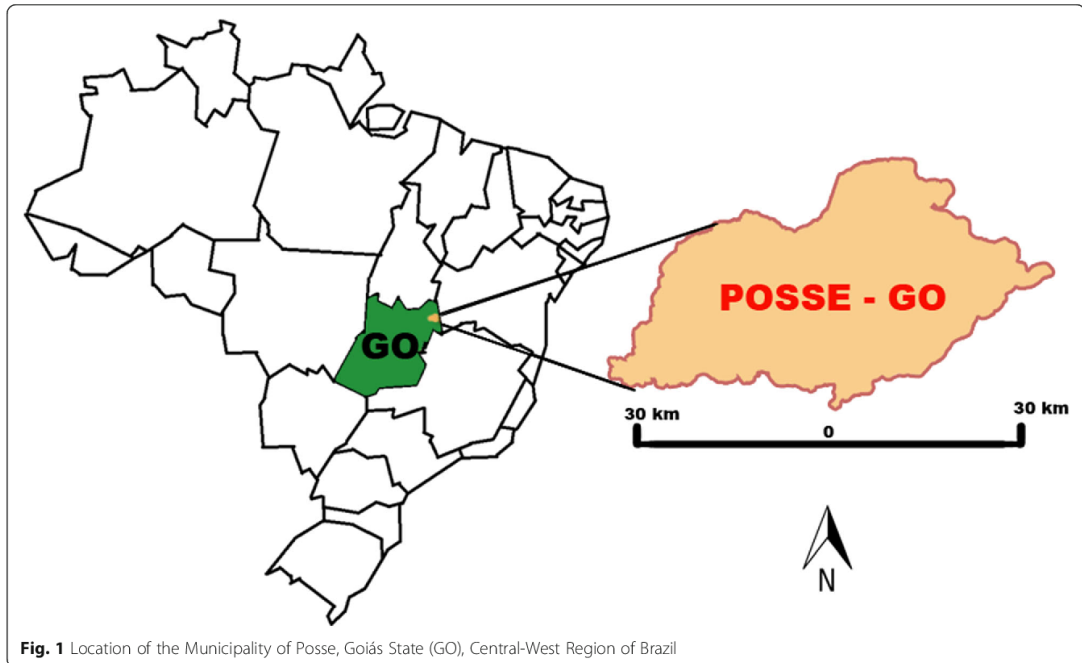


Fig. 1 Location of the Municipality of Posse, Goiás State (GO), Central-West Region of Brazil

Collected specimens were transported to the Laboratory of Medical Parasitology and Vector Biology of the University of Brasília in 50 ml falcon tubes. At the laboratory, specimens were morphologically identified [23], placed in appropriate cages, and kept in the insectary (mean temperature of 30 ± 2 °C, with no humidity control) until a minimum of 210 adult insects (70 per release point) were obtained for the MRR experiments (i.e. adding the number of collected adults to fourth- and fifth-instars that molted into adulthood while in the insectary). Insects were fed on chickens every 15 days for 30–40 min.

Mark, release and recapture (MRR) assays

Because very little is known regarding the capacity adult triatomines have in terms of small-scale dispersal (and our ability to recapture them), we adopted a simple strategy to assess insect movement that started by releasing marked specimens at a very close distance (2, 5 and 10 m) from its most likely destination point: the chicken coop. This assumption was based on historical data on triatomine bug surveillance conducted by local technicians and described in detail by Rossi et al. [24]. Evaluation of dispersal through longer distances was guaranteed by the presence of another manmade structure, the horse corral (HC), located farther away from the first three release points.

Triatoma sordida adults were marked with fluorescent dust (DayGlo Color Corp, Cleveland, USA) of different colors. Instead of using the dust dry, approximately 5 mg of each color was mixed in 2 ml of water to generate a thick liquid dye to be painted on the insect's pronotum with the aid of a fine brush (Fig. 2). The use of fluorescent dust to mark insects is a common approach on MRR studies since the topic application does not seem to affect insect survival [25].

A total of three marks, release and recapture (MRR) experiments were conducted to estimate triatomine movement, survival and abundance. In the first experiment, 210 adults were released from three points (70 from each) along with a straight line at the distances of 2 m (marked in blue), 5 m (orange), and 10 m (green) from the CC. These points were also 35, 32 and 27 m away respectively from the HC (Fig. 3).

The first recapture was conducted in the morning 15 days after the release and both structures (CC and HC) were inspected for the presence of marked *T. sordida*. The inspection was carried out by three health agents during 60 min in each recapture site. Both marked and newly captured (unmarked) adults received a purple dot on the pronotum and were released at dusk along a second transect 10 m away from CC and 46 m from HC. This was done to increase the release distances from the two peridomestic structures while remaining inside the peridomicile (Fig. 3).

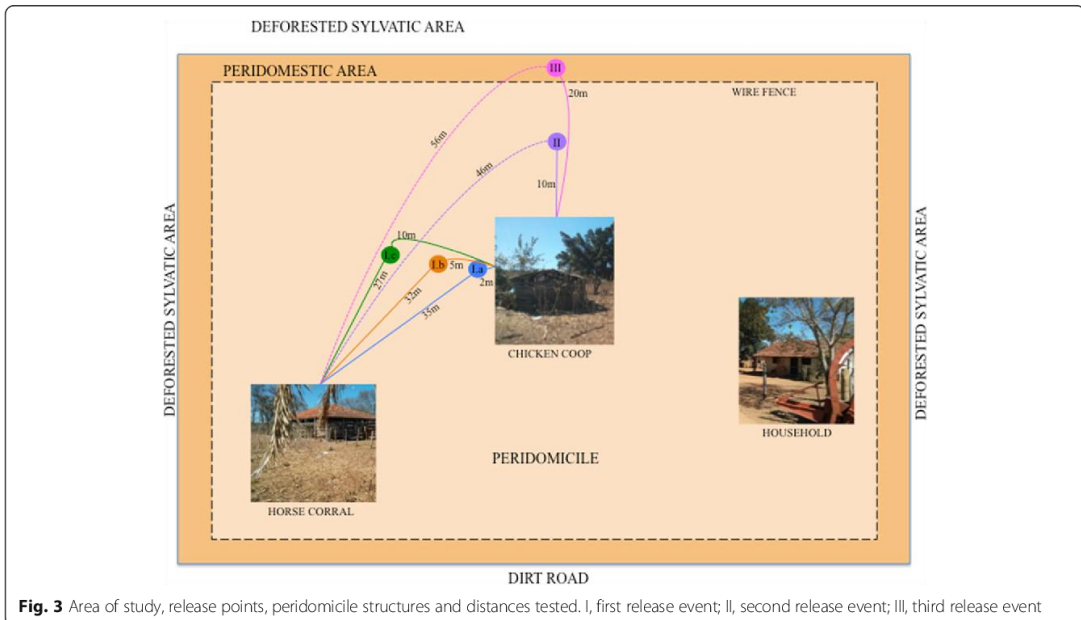


Thirty days post-release we performed the second recapture event. Captured insects included specimens from the first and second releases, as well as new unmarked adults. All specimens received a pink mark on the pronotum and were released on the evening of the same day along with a third transect 20 m away from CC and 56 m from HC. The third and last recapture event were performed 45 days after the first release. By using different colors to mark insects, we were able to determine the exact day of release and distance travelled for every recaptured individual. All collected bugs were examined under UV light to

determine whether there was a marker and if positive which color.

Statistical analysis

We describe the capturing process as a Bayesian model. Each capture is described by a sequence of events, an MRR history, depending on the release times and capture occasion. The capture site is also part of the capturing history as a local variable l (dichotomous variable: HC, CC). The capture probability is described by p_{ij} of history i and sex j (female/male). We model p_{ij} such that $\log(p_{i,j}) = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 d_i$ where d_i is the distance



from releasing point to the capture site for history $i, \beta_{0,j}$ is an intercept, and $\beta_{1,j}$ and $\beta_{2,j}$ are coefficients associated with local variable and distance, respectively. The few histories involving multiple recaptures contain multiple distance values associated with distance from each recapture to its releasing point. The number of captures described by history i for sex j is defined by $N_{i,j} \sim \text{Binomial}(R_{i,j}, p_{i,j} \phi^{n_i})$, where $R_{i,j}$ is the number of releases, ϕ is the probability of survival during a 15-day period, and n_i is the number of surviving intervals.

Four different Bayesian models were tested. The first and simplest model (M0) considers survival rates and distance to capture location only. The second model (ML) increases in complexity by adding information on the collection location (whether insects were captured in CC or HC). The third model (MS) replaces “collection location” information with that on the sex of recaptured specimens. Finally, the fourth model (MLS) incorporates all parameters mentioned above (i.e. distance, survival rates, capture location, and sex). Model MS had the lowest deviance information criterion (DIC) and was therefore used in three of the four analyses performed. The MSL model was also used to specifically evaluate the likelihood of insects reaching either the CC or the HC.

Our Bayesian models are described using BUGS language [26, 27]. We use these models to run Markov Chain Monte Carlo simulations (MCMC), and as a result, to obtain posterior distributions for β parameters. Such distributions permit us to obtain estimates for the β parameters given our observations in the field, which explains how capturing probability is affected as release distance increases and the capture site varies (HC/CC). We used prior distributions $\beta_{2,j} \sim \text{Normal}(0, 100)$, $\beta_{1,j} \sim \text{Normal}(0, 100)$, $\exp(\beta_{0,j}) \sim \text{Beta}(2,2)$.

Abundance estimates were obtained with the MRR data generated herein using the deterministic models of Fisher-Ford and Lincoln [25, 28–30]. These estimates were compared with the ones obtained via the chosen Bayesian model (Model MS).

Results

A total of 44 peridomestic structures were inspected on the outskirts of Posse, and 30 (68.2%) were positive for the presence of *T. sordida*. A total of 583 *T. sordida* were collected (368 adults, with 232 males and 136 females, 143 N5, 42 N4, 8 N3, 2 N2 and 20 N1), with an average of 19.4 specimens per positive premise.

Of the 210 marked specimens released at the first MRR event (day 1), 16 (7.6%) were recaptured on day 15. A total of ten insects (eight males and two females) were collected in CC, whereas 6 (one male with an orange mark and thus released at 5 m away from CC, and

four males and one female with a green mark released 10 m away from CC) were found in HC (Table 1). Therefore, 37.5% of the marked individuals recaptured were collected at HC, which is 27–32 m away, instead of at the CC located at 5–10 m from the release points (Fig. 2, Table 1). Additionally, ten new (unmarked) specimens were collected at CC.

In the second MRR event, 25 individuals received a purple mark (15 of them received the second mark, and 10 new specimens were marked for the first time) and were released on day 15 at 10 and 46 m away from CC and HC, respectively. On the morning of day 30, we recaptured six marked individuals, four of them (three males and one female) from the first release (day 1) and therefore captured for the first time; two recaptured for the second time, and 18 unmarked insects (Table 1). During the second recapture event, all triatomine bugs were recovered in CC.

In the third MRR event, 23 individuals (six already recaptured in the first and second MRR and 18 new specimens) received a pink mark and were released at 20/56 m away from CC/HC (Table 1). At this point, there were triatomine bugs in the field with one, two or three markers, which allowed us to determine the distance marked individuals were released and for how long they survived in the field. A total of five marked insects were recaptured on day 45, including two males from the first release (day 1), one released at 2 m (blue mark) and another at 10 m (green mark). The other three triatomines were marked with a pink dot and thus released at 20 m on the third MRR event (day 30). No new individuals were captured at this time.

Recapture likelihood seems to be sex-biased as females were found more often at CC than at HC. The ratio HC/CC for male recapture is close to 1 with a wide distribution, indicating that males, instead, appear not to have a particular preference for either peridomestic structure (Fig. 4a). Recapture probability showed an inversely proportional relationship to distance (from release to collection sites). Capture probability decreases by factors given in Fig. 4b for both males and females. This analysis shows that distance is a limiting factor for triatomine dispersal, especially for females. Although subject to a greater predation risk by moving longer distances to reach HC, no statistical difference was detected between male/female survival probabilities (Fig. 4c).

Based on the results seen in Fig. 4b, a graph was generated to depict the probabilities associated with the ability of *T. sordida* to reach both peridomestic structures within distances of up to 100 m. Nonetheless, there is still a low possibility of these insects reaching CC or HC even at greater distances.

The probability of reaching a peridomestic structure when at a distance of, say, 20 m is much higher for

Table 1 Color identification and number of *T. sordida* adults used in three MRR experiments with respect to release distances from the chicken coop (CC) and horse corral (HC), performed within a 45 day period

Event	Mark ^a	Release	Distance/ CC (m)	Distance/ HC (m)	Male/ female	Recapture	Marked male/ female CC	Marked male/ female HC	Unmarked male/ female wild
First MRR	B	Day 1	2	35	40/30	Day 15	2/1	–	
	O	Day 1	5	32	40/30	Day 15	5/1	1/–	3/7
	G	Day 1	10	27	40/30	Day 15	1/–	4/1	
Second MRR	B	Day 1	2	35	–	Day 30	2/1	–	
	O	Day 1	5	32	–	Day 30	–/1	–	
	G	Day 1	10	27	–	Day 30	–	–	
	P	Day 15	10	46	3/7	Day 30	–	–	13/5
	B, Pu	Day 15	10	46	2/1	Day 30	–	–	
	O, Pu	Day 15	10	46	6/1	Day 30	1/–	–	
Third MRR	G, Pu	Day 15	10	46	4/1	Day 30	–/1	–	
	B	Day 1	2	35	–	Day 45	1/–	–	–
	O	Day 1	5	32	–	Day 45	–	–	–
	G	Day 1	10	27	–	Day 45	1/–	–	–
	P	Day 15	10	46	–	Day 45	–	–	–
	B, Pu	Day 15	10	46	–	Day 45	–	–	–
	O, Pu	Day 15	10	46	–	Day 45	–	–	–
	G, Pu	Day 15	10	46	–	Day 45	–	–	–
	Pi	Day 30	20	56	12/5	Day 45	2/–	–	–
	Pu, Pi	Day 30	20	56	–	Day 45	–	–	–
	B, Pi	Day 30	20	56	2/1	Day 45	–/1	–	–
	O, Pi	Day 30	20	56	–/1	Day 45	–	–	–
	G, Pi	Day 30	20	56	–	Day 45	–	–	–
	B, Pu, Pi	Day 30	20	56	–	Day 45	–	–	–
	O, Pu, Pi	Day 30	20	56	1/–	Day 45	–	–	–
G, Pu, Pi	Day 30	20	56	–/1	Day 45	–	–	–	

B blue, O orange, G green, Pu purple, Pi pink

^aThe abbreviations on the "Mark" column refer to the color insects were marked

males (approximately 60%), than for females (40%) (Fig. 5). This suggests *T. sordida* males are more likely to contribute as potential colonizers of the peridomestic environment.

Estimates based on the deterministic Fisher-Ford model were all within the credibility interval of the Bayesian method (Model MS). On the other hand, estimates for the Lincoln model lay outside the Bayesian credibility interval (e.g. the credibility interval during the second recapture pointed to 18–136 males, whereas the Lincoln estimate was 780 males; Table 2). A great rise in abundance estimates was observed between the first and second recapture events (Table 2). It seems unlikely that this discrepancy resulted from real population size increase, but rather could be due to the collection of previously uncaptured "resident" triatomines during the second recapture event.

Discussion

The results presented here on the dispersal capabilities of adult *Triatoma sordida* specimens in the peridomestic of a rural central Brazil household were obtained using MRR. With the development of an efficient marking system that used long-lasting marks of different colors that could be systematically added to the pronotum of recaptured insects, we were able to generate relevant new information on the dispersal and dynamics of a peridomestic *T. sordida* population. This sort of information, i.e. triatomine dispersal capabilities on a microgeographical scale, although of obvious epidemiological relevance, seems to have remained elusive to investigators throughout the years.

The most salient feature of this study was the determination that, in a 45-day interval, adult *T. sordida* specimens released in the peridomestic area of a typical

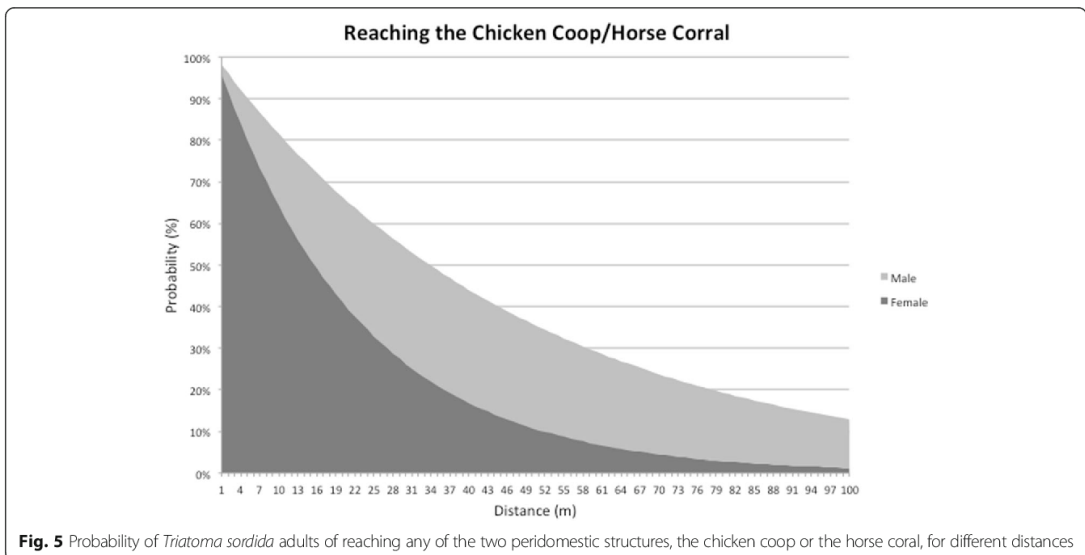
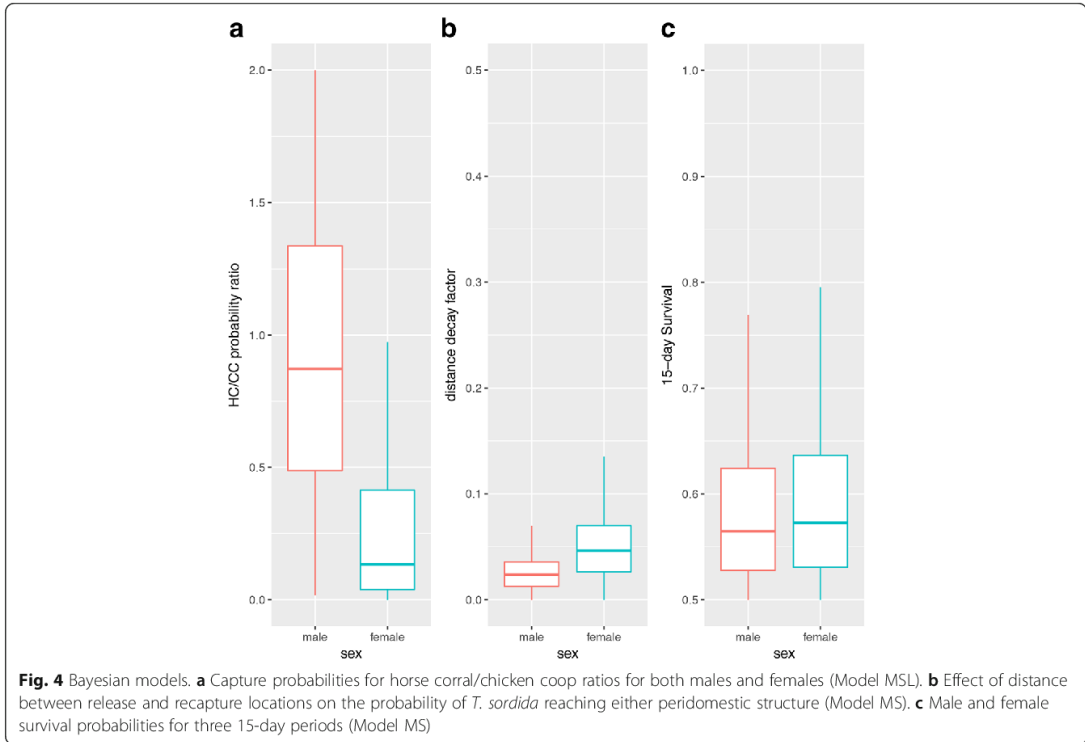


Table 2 Relative abundance of *Triatoma sordida* based on the Bayesian method (Model M5) and the deterministic Fisher-Ford and Lincoln methods

Abundance estimate	Bayesian method			Fisher-Ford Estimate	Lincoln Estimate
	Mean	Median	Credibility interval		
Population/Occasion (first or second recapture)					
Male/first recapture	29	24	10–73	32	105
Male/second recapture	53	45	18–136	70	780
Female/first recapture	12	9	4–41	40	135
Female/second recapture	21	15	6–69	40	450

rural house in central Brazil, are capable of actively dispersing across distances of up to 32 m. The cues defining the orientation of such dispersal are unclear as, contrary to the expectation that insects would be more prone to move towards the closer CC, some dispersed further and in a different direction to achieve the more distant HC. This is an important finding as it challenges the belief that *T. sordida* has a remarkable preference for avian hosts.

The establishment of distances, in a given period, within which insect colonization (or recolonization) are likely to occur is fundamental for the understanding of Chagas disease epidemiology and constitute a major step forward towards long-term sustainable vector control interventions.

The observation that there is an apparent discontinuity in the capture success, in a 45-day period, at the distance of 32 m is of special epidemiological interest (assuming no insects flew beyond the maximum distance of 56 m, see below). This finding is corroborated by the results of statistical models applied to the data obtained. The major focus of all multinational Chagas disease control initiatives launched to date has relied on the spraying of infested houses and peridomestic structures with residual insecticides [31]. However, sylvatic populations of triatomine bugs may migrate and re-colonize peridomestic structures soon after control activities [32–34].

The evaluation of *T. sordida* infestation in 406 rural households of Southeast Brazil led to the collection of 772 insects before insecticide spraying (98% in the peridomicile [35]). A similar number of insects were captured in the two collections performed after spraying (7 and 12 months afterwards). It was observed that 62.9% of captured peridomestic *T. sordida* was located near the sylvatic area (12–300 m). Authors attributed the finding of high numbers of specimens after spraying for local insect survival and immigration from sylvatic areas [35]. Although informative, the lack of utilization of a marking technique prevented the authors from drawing more objective conclusions based on the data obtained. In addition, it seems that *T. sordida*'s reduced dispersal capability would have precluded dispersal over larger areas. Therefore, it would be more plausible to suppose that insects collected after spraying constituted a recolonizing population composed of surviving individuals.

Direct MMR observation revealed 27 and 32 m as maximum travelled distance towards a peridomestic structure by females and males (one individual each), respectively. As expected, the probability of reaching either CC or HC is strongly dependent on distance. Artificial CCs placed directly in the sylvatic environment became readily infested by wild *T. sordida* populations [19]. Therefore, one practical initiative to reduce the contact rate between human hosts and triatomine bugs would be to construct peridomestic structures as far as possible from the sylvatic environment. Although our study only focused on the peridomestic area, it is reasonable to assume that there is where any new migrant will land if, for instance, it flies in from the sylvatic habitat. In this scenario, the peridomestic structures could act as “stepping-stones” towards any domestic structure. The greater the distance between these three areas (sylvatic environment, peridomestic structures, domestic structure), the lower the likelihood of domestic colonization. Following this line of reasoning, Fig. 5 shows, for example, that if positioned at least 55 m away, the probability of colonizing CC or HC drops to less than 30% for males and 10% for females.

Historical data regarding triatomine movement is based on a variety of marking methods, capturing techniques and data analysis, which compromise the direct comparison of results generated. In general, limited evidence has been produced with regard to the active dispersal capabilities of these insects, with most available data focusing on vector flight capacity. Gómez-Núñez [36] was one of the first to address the issue of triatomine micro-geographical dispersal and communication between sylvatic and domestic transmission cycles. By internally marking specimens of *Rhodnius prolixus* with gold-covered CO₆₀ wire tags and tracking them with Geiger and scintillation counters, he observed the movement between palm trees to houses in rural Venezuela. During 40 days, *R. prolixus* dispersal was motivated mainly by starvation and did not exceed 15 m. Besides, migration seemed to be unidirectional, from palms towards houses [36]. A recent study [37] suggests through mathematical models that the closer the palm of the house, the greater is the chances of it being visited by *R. prolixus*.

Schofield et al. [20] carried out an MRR experiment with *T. sordida* adults in salt-flats (salinas) of Argentina aiming to determine flight dispersal behaviour. The majority of released insects were not recaptured, suggesting dispersal capability superior to 200 m on that specific landscape. Lehane and Schofield [38] performed MRR experiments with fluorescent marked *T. infestans* males and observed that bugs were able to disperse by active flight for more than 100 m in field sites from Brazil and Argentina. As in Schofield et al. [20], both experiments focused on flight initiation with use of a brick platform to help trigger take-off. The additional stimulus was provided by kerosene lamps as attraction points (only for the latter study).

Our study should not be directly compared with these important earlier investigations. They aimed at determining insect dispersal by flight in a scenario of “fleeing from an inhospitable environment (i.e. salt flats) with the aid of a launching platform”. Our results should rather be interpreted as “having escaped from a condition of hardship in the wild, such as the described above, and successfully landing in a peridomestic area, what do adult *T. sordida* do?”

Could the insects have dispersed (flown) further than the maximum distance of 56 m investigated here? Possibly, although this issue was beyond the scope of the present work. Nonetheless, available evidence suggests that in the absence of a launching platform adult *T. infestans* will not take-off spontaneously from the ground level as observed by the lack of adults to overcome a physical barrier and return into experimental huts [39]. Moreover, Forattini et al. [19] demonstrated that although wild *T. sordida* will readily invade and colonize experimental CCs in both deforested and pasture areas of the Cerrado, dispersal in the opposite direction was negligible: only one insect out of 172 flew back into the sylvatic area. This indicates that *T. sordida* will likely disperse toward food and shelter and not away from it [40].

We attempted to replicate the natural conditions seen in rural Cerrado areas as much as possible by choosing a specific site that had two natural sources of attraction for triatomines: a CC and an HC. Therefore, we believe that the *T. sordida* we released in this particular peridomestic most likely achieved the CC and HC crawling, since insects were monitored for 10 min after release on the ground at dusk and none started flight.

There is a large body of work on the estimation of abundance, survivorship and other important population descriptors for wild animals [41]. Many methods, however, face limitations when applied to the analysis of vector MRR data where specimens are individually marked and often recaptured multiple times [42]. The experimental design used here, notably the use of a new

marker color for different release points and events allowed for important estimates such as (i) capture probability as a function of distance to either HC and CC, and (ii) triatomine survivorship, to be made.

The MRR method, as almost all experimental techniques, is not perfect and will present shortcomings in certain situations. In our case, one particular limitation was the low recapture rate (which was nonetheless still within the range seen for other vector groups such as mosquitoes, e.g. [42, 43]). Dispersal from a central point will lead inevitably to what is known as “dilution effect” where individuals will spread out over a progressively greater area and thus become more difficult to recapture. We attempted to circumvent such challenge by focusing our searches solely on the two peridomestic structures available, the CC and HC.

Knowledge of vector survival is key for the estimation of how long an infected vector may transmit a pathogen to a susceptible host. Our survival model showed that there is no difference in survival rates between males and females during a 15-day interval. Surprisingly, results indicate that *T. sordida* males disperse further and thus may colonize the peridomestic structures more effectively than females. Therefore, evidence suggests our paper is the first to demonstrate that sex per se can influence *T. sordida* vectorial capacity.

Triatoma sordida abundance estimates for the first two recapture events show that the number of adults of both sexes significantly increased in each 15-day period according to the Bayesian, Lincoln and Fisher-Ford methods (excluding Fisher-Ford estimates for females). This sudden increase in population size is unlikely to be real, but rather reflect the collection of previously uncaptured wild insects on the following recapture event. Among the methods used to estimate *T. sordida* population size, the Lincoln method gave discrepant results since they pointed to a 7.4-fold increase in male population size in a 15-day period. A possible explanation for the discrepancy of the Lincoln method is that survival probability was not considered, only numbers of released and recaptured individuals.

Conclusions

The implementation of MRR to estimate dispersal capability of triatomine vectors can significantly improve vector control strategies by determining, for instance, the distance within which wild insects are more likely to colonize the peridomestic structures such as CC or HC. *Triatoma sordida* showed a dispersal capability, within 45 days, limited to 32 m from the release point, not being collected beyond this threshold. Therefore, increasing the distance as much as possible between the peridomestic structures and the sylvatic environment, as well as from the peridomestic structures and the

domicile, seems to be a simple and feasible practice to reduce the contact rate between humans and infected bugs and, by corollary, Chagas disease transmission.

Abbreviations

CC: Chicken coops; DIC: Deviance information criterion; GO: State of Goiás; HC: Horse corral; MCMC: Markov Chain Monte Carlo; MRR: Mark, release and recapture

Acknowledgments

We are very grateful to the Health Department of the municipality of Posse-GO, especially to the Vector Control Coordinator, Mr Luis Carlos Nascimento for logistical support, and to the technicians Mr Odeswaldo and Mr Mario for field assistance.

Funding

This study was supported by the Brazilian National Research Council (CNPq) by a grant conceived to FAM (Call MCTI/CNPq/MS-SCTIE-Decit No 40/2012).

Availability of data and materials

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

Authors' contributions

Conceived and designed the experiments: ESD, FAM, RGG and RMF. Performed the experiments: ESD and RGG. Analyzed the data: ESD, DAMV and RMF. Contributed reagents/materials/analysis tools: RGG and FAM. Wrote the paper: ESD, RGG, DAMV, FAM and RMF. All authors read and approved the final manuscript.

Ethics approval

This project has the approval of the Fiocruz ethical research committee (CEP 346.721) and authorization of the Health Department of the city of Posse. Before the insect releases, Posse health agents helped with the selection of houses with high *T. sordida* infestation allowing for the collection of insects to be released during the study. The owner of the rural property where experiments took place received detailed information on the project objectives and signed a written informed consent form allowing for the release and recapture of insects at his property. We were not granted clearance to search for insects inside the household itself. The blood-feeding of insects at the University of Brasília on avian hosts were authorized by the UnB Ethical Committee to RGG (approval protocol: 346.721).

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Author details

¹Laboratório de Transmissão de Hematozoários, Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz (IOC/ FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brazil. ²Laboratório de Epidemiologia e Sistemática Molecular, Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz (IOC/ FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brazil. ³Laboratório de Parasitologia Médica e Biologia de Vetores, Área de Patologia, Faculdade de Medicina, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, DF, Brazil. ⁴Programa de Computação Científica, Fundação Oswaldo Cruz (PROCC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brazil.

Received: 29 September 2017 Accepted: 28 November 2017

Published online: 05 January 2018

References

- Burleigh BA, Andrews NW. The mechanisms of *Trypanosoma cruzi* invasion of mammalian cells. *Annu Rev Microbiol.* 1995;49:175–200.

- Bem C, Kjos S, Yabsley MJ, Montgomery SP. *Trypanosoma cruzi* and Chagas' disease in the United States. *Clin Microbiol Rev.* 2011;24:655–81.
- Aguilar HM, Abad-Franch F, Dias JCP, Junqueira ACV, Coura JR. Chagas disease in the Amazon region. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2007;102(Suppl. 1): 47–55.
- Coura JR. The main sceneries of Chagas disease transmission. The vectors, blood and oral transmissions - a comprehensive review. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2015;110:277–82.
- Requena-Méndez A, Albajar-Viñas P, Angheben A, Chiodini P, Gascón J, Muñoz J, et al. Health policies to control Chagas disease transmission in European countries. *PLoS Negl Trop Dis.* 2014;8:e0003245.
- Imai K, Maeda T, Sayama Y, Mikita K, Fujikura Y, Misawaet K, et al. Mother-to-child transmission of congenital Chagas disease, Japan. *Emerg Infect Dis.* 2014;20:146–8.
- Dias JC, Ramos AN Jr, Gontijo ED, Luquetti A, Shikanai-Yasuda MA, et al. Brazilian consensus on Chagas disease, 2015. *Epidemiol Serv Saúde.* 2016;25:7–86.
- Diotaiuti L, Pereira AS, Loliola CF, Fernandes AJ, Schofield JC, Dujardin JP, et al. Inter-relation of sylvatic and domestic transmission of *Trypanosoma cruzi* in areas with and without domestic vectorial transmission in Minas Gerais, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 1995;90:443–8.
- Pereira MH, Gontijo NF, Guarneri AA, Sant'Anna MR, Diotaiuti L. Competitive displacement in Triatominae: the *Triatoma infestans* success. *Trends Parasitol.* 2006;22:516–20.
- Noireau F, Zegarra M, Ordoñez J, Gutierrez T, Dujardin JP. Genetic structure of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) domestic populations from Bolivia: application on control interventions. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 1999; 94:347–51.
- Monteiro FA, Jurberg J, Lasoki C. Very low levels of genetic variation in natural peridomestic populations of the Chagas disease vector *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in southeastern Brazil. *Am J Trop Med Hyg.* 2009;81:223–7.
- Gonzalez-Britez NE, Carrasco HJ, Martínez Purroy CE, Feliciangeli MD, Maldonado M, López E, et al. Genetic and morphometric variability of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) from the eastern and western regions of Paraguay. *Front Public Health.* 2014;2:149.
- Panzeri F, Pita S, Nattero J, Panzera Y, Galvão C, Chavez T, et al. Cryptic speciation in the *Triatoma sordida* subcomplex (Hemiptera, Reduviidae) revealed by chromosomal markers. *Parasit Vectors.* 2015;8:495.
- Pérez de Rosas AR, Segura EL, Fichera L, García BA. Macrogeographic and microgeographic genetic structure of the Chagas' disease vector *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) from Catamarca, Argentina. *Genetica.* 2008;133:247–60.
- Abraham L, Gorla D, Catalá S. Active dispersal of *Triatoma infestans* and other triatomines in the Argentinean arid Chaco before and after vector control interventions. *J Vector Ecol.* 2016;41:90–6.
- Noireau F, Flores R, Gutierrez T, Abad-Franch F, Flores E, Vargas F. Natural ecotopes of *Triatoma infestans* dark morph and other sylvatic triatomines in the Bolivian Chaco. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2000;94:23–7.
- Brémond P, Salas R, Waleckx E, Buitrago R, Aliaga C, Barnabé C, et al. Variations in time and space of an Andean wild population of *T. infestans* at a microgeographic scale. *Parasit Vectors.* 2014;7:164.
- Abraham LB, Gorla DE, Catalá SS. Dispersal of *Triatoma infestans* and other Triatominae species in the arid Chaco of Argentina: flying, walking or passive carriage? The importance of walking females. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2011;106:232–9.
- Forattini OP, Ferreira AO, Silva EOR, Rabello EX. Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana. V - Observações sobre colonização espontânea de triatomíneos silvestres em ecótopos artificiais, com especial referência ao *Triatoma sordida*. *Rev Saúde Públ.* 1973;7:219–39.
- Schofield CJ, Lehane MJ, McEwan P, Catalá SS, Gorla DE. Dispersive flight by *Triatoma sordida*. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1991;85:676–8.
- Southwood TRE, Handerson PA. *Ecological methods.* 3rd ed. Oxford: Blackwell Science; 2000.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Available from: <http://cod.ibge.gov.br/2W2ZO>. Accessed 25 Sept 2017.
- Lent H, Wygodzinsky P. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas disease. *Bul Amer Mus Nat Hist.* 1979;163:520–9.
- Rossi JC, Duarte EC, Gurgel-Gonçalves R. Factors associated with the occurrence of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in rural localities of central-west Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2015;110:192–200.

25. Service MW. Mosquito ecology field sampling methods. 2nd ed. London: Chapman & Hall; 1993.
26. Spiegelhalter DJ, Thomas A, Best NG, Gilks W, Lunn D. BUGS: Bayesian inference using Gibbs sampling. Cambridge: MRC Biostatistics Unit; 1993.
27. Spiegelhalter DJ, Best NG, Carlin BP, van der Linde A. Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). *J R Stat Soc B*. 2002;64:583–639.
28. Dowdeswell W, Fisher R, Ford E. The quantitative study of populations in the lepidoptera I. *Polyommatus icarus rott*. *Ann Eugenics*. 1940;10:123–36.
29. Cianci D, Van Den Broek J, Caputo B, Marini F, Torre AD, Heesterbeek H, et al. Estimating mosquito population size from mark-release-recapture data. *J Med Entomol*. 2013;50:533–42.
30. Villela DAM, Codeço CT, Figueiredo F, Garcia GA, Maciel-de-Freitas R, Struchiner CJ. A Bayesian hierarchical model for estimation of abundance and spatial density of *Aedes aegypti*. *PLoS One*. 2015;10:e0123794.
31. Silveira AC, Dias JCP. O controle da transmissão vectorial. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2011;44:52–63.
32. Abad-Franch F, Palomeque FS, Aguilar HM, Miles MA. Field ecology of sylvatic *Rhodnius* populations (Hemiptera, Triatominae): risk factors for palm tree infestation in western Ecuador. *Tropical Med Int Health*. 2005;10:1258–66.
33. Ceballos LA, Piccinali RV, Marcet PL, Vazquez-Prokopec GM, Cardinal MV, et al. Hidden sylvatic foci of the main vector of Chagas disease *Triatoma infestans*: threats to the vector elimination campaign? *PLoS Negl Trop Dis*. 2011;5:e136.
34. Grijalva MJ, Villacis AG, Ocana-Mayorga S, Yumiseva CA, Baus EG. Limitations of selective deltamethrin application for triatomine control in central coastal Ecuador. *Parasit Vectors*. 2011;4:20.
35. Diotaiuti L, Azeredo BVM, Busek SCU, Fernandes AJ. Controle do *Triatoma sordida* no peridomicilio rural do município de Porteirinha, Minas Gerais, Brasil. *Pan Am J Public Health*. 1998;3:21–5.
36. Gomez-Núñez JC. Resting places, dispersal and survival of COs-tagged adult *Rhodnius prolixus* populations. *J Med Ent*. 1969;6:83–6.
37. Erazo D, Cordovez J. Modeling the effects of palm-house proximity on the theoretical risk of Chagas disease transmission in a rural locality of the Orinoco basin, Colombia. *Parasit Vectors*. 2016;18:592.
38. Lehane MJ, Schofield CJ. Field experiments of dispersive flight by *Triatoma infestans*. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1981;75:399–400.
39. Gurevitz JM, Ceballos LA, Kitron U, Gürtler RE. Factors affecting flight initiation of field *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) under natural climatic conditions. *J Med Entomol*. 2006;43:143–50.
40. Schofield CJ. *Triatominae-Biology & Control*. West Sussex: Eurocommunica Publications; 1994.
41. MacKenzie DI, Nichols JD, Royle JA, Pollock KH, Bailey LL, Hines JE. *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species*. Boston: Elsevier; 2006.
42. Villela DAMV, Garcia GA, Maciel-de-Freitas R. Novel inference models for estimation of abundance, survivorship and recruitment in mosquito populations using mark-release-recapture data. *PLoS Negl Trop Dis*. 2017;11:e0005682.
43. Silver JB. *Mosquito ecology: field sampling methods*. 3rd ed. New York: Springer; 2008.

Submit your next manuscript to BioMed Central and we will help you at every step:

- We accept pre-submission inquiries
- Our selector tool helps you to find the most relevant journal
- We provide round the clock customer support
- Convenient online submission
- Thorough peer review
- Inclusion in PubMed and all major indexing services
- Maximum visibility for your research

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit



5. CONCLUSÃO

- ✓ Em um período de 45 dias, espécimes adultos de *Triatoma sordida* foram capazes de se deslocar por até 32 metros em área peridomiciliar de uma habitação rural.
- ✓ Alguns espécimes de *T. sordida* se deslocaram em direção ao curral de cavalo presente na área de estudo, indo contra a hipótese inicial de deslocamento massivo em direção ao galinheiro.
- ✓ O sucesso de captura de *T. sordida* em anexos peridomiciliares na área de estudo decresce de maneira contínua à medida que a distância entre o ponto de soltura e o anexo aumenta.
- ✓ O macho adulto de *T. sordida* tem maior probabilidade de atingir um anexo peridomiciliar quando comparado à fêmea. Por exemplo, a uma distância de 20 metros os machos possuem aproximadamente 60% de chance de alcançar os anexos (GAL ou CUR), enquanto que para fêmeas essa probabilidade fica próxima aos 40%.
- ✓ Não foi observada diferença na sobrevivência de machos e fêmeas de *T. sordida* em períodos de 15 dias.
- ✓ O aumento das estimativas de abundância de adultos de *T. sordida* nos dois primeiros eventos de recaptura, pode ter sido superestimado pelos insetos

selvagens previamente não capturados no seguinte evento de recaptura.

- ✓ A implementação da técnica de MSR para estimar a dispersão de triatomíneos vetores pode aprimorar estratégias de controle vetorial ao determinar a distância na qual os insetos selvagens podem colonizar os anexos peridomiciliares como GAL ou CUR.

- ✓ Aumentar a distância entre as estruturas peridomiciliares e o ambiente silvestre, bem como das estruturas peridomiciliares e do domicílio, para além de 50m pode reduzir a taxa de contato entre humanos e insetos infectados, e por consequência, o risco da transmissão da DC.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Franch F, Palomeque FS, Aguilar HM, Miles MA (2005) Field ecology of sylvatic *Rhodnius* populations (Hemiptera, Triatominae): risk factors for palm tree infestation in western Ecuador. *Trop Med Int Health*.10: 1258-1266.
- Abraham LB, Gorla DE, Catalá SS (2011) Dispersal of *Triatoma infestans* and other Triatominae species in the arid Chaco of Argentina: Flying, walking or passive carriage? The importance of walking females. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 106: 232-239.
- Aguilar HM, Abad-Franch F, Dias JCP, Junqueira ACV, Coura JR (2007) Chagas disease in the Amazon Region. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 102 (Suppl I): 47-55.
- Almeida CE, Faucher L, Lavina M, Costa J, Harry M (2016) Molecular individual-based approach on *Triatoma brasiliensis*: inferences on triatomine foci, *Trypanosoma cruzi* natural infection prevalence, parasite diversity and feeding sources. *PLoS Negl Trop Dis* 10: e0004447.
- de Andrade ALSS, Zicker F, Silva IG, Souza JMP, Martelli CMP (1995) Risk factors for *Trypanosoma cruzi* infection among children in central Brazil: A case-control study in vector control settings. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 52:183-187.
- Araújo R, Freitas J, Mendonça V, Rosa JA, Matos JFM et al. (2014) Description of a newly discovered *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) Foci in Ibipeba, State of Bahia, Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. v. 47, n.4, p. 513-516.
- Argolo AM, Felix M, Pacheco R, Costa J (2008) Doença de chagas e seus principais vetores no Brasil. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio; 67p.
- Bailey SF, Eliason DA, Hoffman BL (1965) Flight and dispersal of the mosquito *Culex tarsalis* Coquillett in the Sacramento Valley of California. *Hilgardia* 37: 73-113.

- Barbu C, Dumonteil E, Gourbière S (2010) Characterization of the dispersal of non-domiciliated *Triatoma dimidiata* through the selection of spatially explicit models. PLoS Negl Trop Dis 4(8): e777. doi:10.1371/journal.pntd.0000777.
- Bern C, Kjos S, Yabsley MJ, Montgomery SP (2011) *Trypanosoma cruzi* and Chagas' Disease in the United States. Clin Microbiol Rev 24:655–81.
- Brémond P, Sala R, Waleckx E, Buitrago R, Aliaga C, Barnabé C et al. (2014) Variations in time and space of an Andean wild population of *T. infestans* at a microgeographic scale. Parasites & Vectors 2014 7:164.
- Brener Z, Chiari C (1963) Variações morfológicas observadas em diferentes amostras de *Trypanosoma cruzi*. Rev. Inst. Med. Trop. São Paulo 5, 220-224.
- Brener Z (1973) Biology of *Trypanosoma cruzi*. Rev. Annu. Rev. Microbiol. 27, 347-382.
- Brener Z (1997) *Trypanosoma cruzi*: morfologia e ciclo evolutivo. In: Dias JCP & Coura JR., org. Clínica e terapêutica da doença de Chagas: uma abordagem prática para o clínico geral [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1997. 486p. ISBN 85-85676-31-0. Disponível em: SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.
- Boker CA, Schaub GA (1984) Scanning electron microscopic studies of *Trypanosoma cruzi* in the rectum of this vector *Triatoma infestans*. Zeitschrift für Parasitenkunde 70, 459–469.
- Burleigh BA, Andrews NW (1995) The mechanisms of *Trypanosoma cruzi* invasion of mammalian cells. Annu. Rev. Microbiol 49:175–200.
- Cabello DR, Lizano E, Valderrama A (1987) Vital statistics of *Rhodnius neivai* Lent, 1953 (Hemiptera: Reduviidae) under experimental conditions. Mem. I. Oswaldo Cruz 82: 511-524.

- Carbajal de la Fuente AL, Dias-Lima A, Lopes CM, Emperaire L, Walter A, Ferreira A, et al. (2008) Behavioural plasticity of Triatominae related to habitat selection in Northeast Brazil. *J. Med. Entomol.* 45, 14-19.
- Carvalho-Moreira CJ, Spata MCD, Coura JR, Garcia ES, Azambuja P, Gonzales MS, et al. (2003) In vivo and in vitro metacyclogenesis tests of two strains of *Trypanosoma cruzi* in the triatomine vectors *Triatoma pseudomaculata* and *Rhodnius neglectus*: short/long-term and comparative study. *Experimental Parasitology* 103; 102–111.
- Ceballos LA, Piccinali RV, Marcet PL, Vazquez-Prokopec GM, Cardinal MV, et al. Hidden sylvatic foci of the main vector of Chagas disease *Triatoma infestans*: threats to the vector elimination campaign? *PLOS Negl Trop Dis* 2011; 5: e136.
- Cécere MC, Vazquez-Prokopec GM, Gürtler RE, Kitron U 2004. Spatio-temporal analysis of reinfestation by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) following insecticide spraying in a rural community in northwestern Argentina. *Am J Trop Med and Hyg* 71: 803-810.
- Cho SH, Lee HW, Shin EH, Lee HI, Lee WG, Kim CH, et al. (2002) A mark-release recapture experiment with *Anopheles sinensis* in the northern part of Gyeonggi-do, Korea. *Korean J Parasitol.* Vol. 40, No. 3, 139-148.
- Clayton J (2010) Chagas disease 101. *Nature* 465: S4-S5.
- Costa J, Freitas-Sibajev MG, Marchon-Silva V, Pires MQ, Pacheco RS (1997) Isoenzymes detect variation in populations of *Triatoma brasiliensis* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 92:459–464.
- Costa J, Almeida CE, Dotson EM, Lins A, Vinhaes M, Silveira AC, Beard CB (2003) The epidemiologic importance of *Triatoma brasiliensis* as a Chagas disease vector in Brazil: a revision of domiciliary captures during 1993-1999. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 98: 443-449.

- Costa J, Argolo AM, Félix M (2006) Redescription of *Triatoma melanica* Neiva & Lent, 1941, new status (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Zootaxa* 1385: 47-52.
- Costa J, Félix M (2007) *Triatoma juazeirensis* sp. nov. from the state of Bahia, northeastern Brazil (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 102: 87-90.
- Costa J, Lorenzo M (2009) Biology, diversity and strategies for the monitoring and control of triatomines – Chagas disease vectors. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 104: 46-51.
- Costa J, Peterson AT, Dujardin JP (2009a) Morphological evidence suggests homoploid hybridization as a possible mode of speciation in the Triatominae (Hemiptera, Heteroptera, Reduviidae). *Infect Genet Evol.* 9:263–70.
- Costa J, Correia NC, Neiva VL, Gonçalves TCM, Felix M (2013) Revalidation and redescription of *Triatoma brasiliensis macromelasoma* Galvão, 1956 and identification key for the *Triatoma brasiliensis* complex (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* 108:785-789.
- Costa J, Dornak LL, Almeida CE, Peterson AT (2014) Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions. *Parasit & Vectors.* 7:238. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-238> .
- Coura JR, de Abreu LL, Willcox HPF, Petana W (1997) Estudo comparativo controlado com emprego de benznidazole, nifurtimox e placebo, na forma crônica da doença de Chagas, em uma área de campo com transmissão interrompida. I. Avaliação preliminar. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* vol.30 n.2 Uberaba Mar./Apr. <http://dx.doi.org/10.1590/S0037-86821997000200009>.
- Coura JR (2007) Chagas disease: what is known and what is need: a background article. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* 102 (1): 113-22.

- Coura JR, Borges-Pereira J (2007) Chagas disease: 100 years after its discovery. A systemic review. *Acta Trop* 115: 5-13.
- Coura JR, Dias JC (2009) Epidemiology, control and surveillance of Chagas disease: 100 years after its discovery. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2009 Jul;104 (Suppl 1):31-40.
- Coura JR (2011) Manual de capacitação na detecção de *Trypanosoma cruzi* para microscopistas de Malária e Laboratoristas da rede pública. 2º ed. Rio de Janeiro. SVS/ICICT. 300p.
- Coura JR, Viñas PA, Junqueira ACV (2014) Ecoepidemiology, short history and control of Chagas disease in the endemic countries and the new challenge for non-endemic countries. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, Vol. 109(7): 856-862, November.
- Coura JR (2015) The main sceneries of Chagas disease transmission. The vectors, blood and oral transmissions - A comprehensive review. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 110(3): 277-282.
- Dias E (1955) Notas sobre o tempo de evolução de algumas espécies de triatomíneos em laboratório. *Revista Brasileira de Biologia* 15: 157-158.
- Dias JCP (1987) Epidemiologia e controle da doença de Chagas no Brasil. Panorama atual. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 20 (supl.): 155.
- Dias JCP (1997) Controle da Doença de Chagas. In: Dias, JCP & Coura JR, org. *Clínica e terapêutica da doença de Chagas: uma abordagem prática para o clínico geral* [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1997. pp. 453-467.
- Dias JCP, Coura JR (1997). Epidemiologia. In: *Clínica e Terapêutica da Doença de Chagas. Uma Abordagem Prática para o Clínico Geral* (JCP Dias & JR Coura, org.), pp. 33-66, Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1997.
- Dias JCP, Diotaiuti L (1998) Vectores secundarios de la enfermedad de Chagas en el Brasil y perspectivas para su control. In: Guhl F, Jaramillo CA, editors. *Control de*

Tripanosomiasis Americana y Leishmaniosis: Aspectos Biológicos, Genéticos y Moleculares. Corcas Editores Ltda, Santafé de Bogotá, DC, Colombia, p. 154-159.

Dias JCP, Schofield CJ (1999) The evolution of Chagas disease (American trypanosomiasis) control after 90 years since Carlos Chagas discovery. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 94 (Suppl. 1), 103-122.

Dias JCP (2000) Epidemiologia. In: Brener Z, Andrade ZA, Barral-Neto M, editors. *Trypanosoma cruzi* e doença de Chagas. 2nd ed. Rio de Janeiro, Brazil: Guanabara Koogan; p. 48-74.

Dias JCP (2001) Doença de Chagas, ambiente, participação e Estado. Cad Saúde Públ 17: 165-169.

Dias JCP (2002) Controle da doença de Chagas no Brasil. In: Silveira AC. El control de la enfermedad de chagas en los países del Cono Sur de América: *História de una iniciativa internacional*. Uberaba: Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro, p. 145-250.

Dias JCP (2007) Southern Cone Initiative for the elimination of domestic populations of *Triatoma infestans* and the interruption of transfusional Chagas disease. Historical aspects, present situation, and perspectives. Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 102 (suppl. I): 11-18.

Dias JCP, Amato Neto V (2011) Prevenção referente às modalidades alternativas de transmissão do *Trypanosoma cruzi* no Brasil. Rev Soc Bras Med Trop. 2011;44 supl 2:68-72.

Dias JCP, Borges-Pereira J, Macedo VO (2013) Doença de Chagas. In: Coura JR, editor. *Dinâmica das Doenças Infecciosas e Parasitárias*. 2ª edição. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 2013. pp. 606-641.

- Dias JCP, Ramos Jr AN, Gontijo ED, Luquetti A, Shikanai-Yasuda MA, et al. (2016) II Consenso Brasileiro em Doença de Chagas, 2015. *Epidemiol Serv Saúde* 25; 7-86. 6. <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742016000500002>
- Dias-Lima, AG, Menezes D, Sherlock I, Noireau F (2003) Wild habitat and related fauna of *Panstrongylus lutzi* (Reduviidae, Triatominae). *J. Med. Entomol.* 40, 989-990.
- Diotaiuti L, Penido CM, Pires HHR, Dias JCP 1995. Dinâmica da alimentação e dejeção do *Triatoma sordida*. *Rev Soc Bras Med Trop* 28: 195-198.
- Diotaiuti L, Azeredo BVM, Busek SCU, Fernandes AJ (1998) Controle do *Triatoma sordida* no peridomicílio rural do município de Porteirinha, Minas Gerais, Brasil. *Pan Am J Public Health.* 3.
- Dumonteil E, Tripet F, Ramirez-Sierra MJ, Payet V, Lanzaro G, Menu F (2007) Assessment of *Triatoma dimidiata* dispersal in the Yucatan Peninsula of Mexico by morphometry and micro-satellite markers. *Am J Trop Med Hyg* 76: 930-937.
- Erazo D, Cordovez J (2016) Modeling the effects of palm-house proximity on the theoretical risk of Chagas disease transmission in a rural locality of the Orinoco basin, Colombia. *Parasit & Vectors.*18:592.
- Fernandes AJ, Diotaiuti L, Dias JCP, Romanha AJ, Chiari E (1994) Inter-Relações entre os Ciclos de Transmissão do *Trypanosoma cruzi* no Município de Bambuí, Minas Gerais, Brasil. *Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro*, 10 (4): 473-480, out/dez.
- Fitzpatrick S, Feliciangeli MD, Sánchez-Martín MJ, Monteiro FA, Miles MA (2008) Molecular genetics reveal that silvatic *Rhodnius prolixus* do colonise rural houses. *PLoS Negl Trop Dis.* 2(4):e210.
- Foratini OP, Ferreira OA, Rocha e Silva EO, Rabello EX, Ferreira dos Santos JL (1971) Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana II - Distribuição e dispersão local de triatomíneos, em ecótopos naturais e artificiais. *Rev. Saúde Publica* 5, 193-205.

- Forattini, OP, Rabello EX, Pattoli DBG (1972) Aspectos ecológicos da tripanossomose americana. IV. Mobilidade de *Triatoma arthur neivai* em seus ecótopos naturais. Rev. Saúde públ., S. Paulo, 6:183-7.
- Forattini OP, Ferreira AO, e Silva EOR, Rabello EX (1973) Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana. V - Observações sobre colonização espontânea de triatomíneos silvestres em ecótopos artificiais, com especial referência ao *Triatoma sordida*. Rev Saúde Públ. 7: 219-39.
- Forattini OP, Ferreira AO, e Silva EOR, Rabello EX (1975). Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana. VII - Permanência e mobilidade do *Triatoma sordida* em relação aos ecótopos artificiais. Rev Saúde Públ 9: 467-476.
- Forattini OP, Ferreira AO, e Silva EOR, Rabello EX (1978) Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana. XII - Variação regional da tendência de *Panstrongylus megistus* à domiciliação. Rev. Saúde públ., S. Paulo, 12:209-33.
- Forattini OP, e Silva EOR, Rabello EX, de Andrade JCR, Correia Rodrigues VLC (1978a) Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana. XIII - Potencial enzoótico doméstico em área de ocorrência de *Panstrongylus megistus*, sob vigilância epidemiológica. Rev. Saúde públ. S. Paulo, 12:417-24.
- Forattini OP, Ferreira AO, e Silva EOR, Rabello EX (1979). Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana. XV — Desenvolvimento, variação e permanência de *Triatoma sordida*, *Panstrongylus megistus* e *Rhodnius neglectus* em ecótopos artificiais. Rev. Saúde públ. S. Paulo, 13:220-34.
- Forattini OP, Barata JMS, Santos JLF, Silveira AC (1982) Hábitos alimentares, infecção natural e distribuição de triatomíneos domiciliares na Região Central do Brasil. Rev. Saúde Públ. 16: 171-204.

- Galvão C, Carcavallo R, Rocha DS, Jurberg J (2003) 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*. 202: 1–36.
- Galvão C, Justi SA (2015) An overview on the ecology of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae). *Acta Tropica* 151 (2015) 116–125.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.06.006>
- Galvão C, org. (2014) Vetores da doença de chagas no Brasil [online]. Curitiba: Sociedade Brasileira de Zoologia, 2014, 289p. Zoologia: guias e manuais de identificação series. ISBN 978-85-98203-09-6. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.
- Gamboa CJ (1962) Dispersión de *Rhodnius prolixus* en Venezuela. *Bolet. Direcc. Malariol. Saneamien. Ambient.* 3, 262-272.
- Gaunt M, Miles M (2000) The ecotopes and evolution of triatomine bugs (triatominae) and their associated trypanosomes. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 95, 557–565.
- Gomez-Núñez JC (1969). Resting places, dispersal and survival of CO₂-tagged adult *Rhodnius prolixus* populations. *J of Med Ent.* 6, 83-86.
- Gonçalves TCM, Teves-Neves SC, Santos-Mallet JR, Carbajal-de-Lafuente AL, Lopes CM (2013) *Triatoma jatai* sp. nov. in the state of Tocantins, Brazil (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 108: 429-437
- Gorla DE, Ponce C, Dujardin JP, Schofield CJ (2010) Control Strategies Against Triatominae. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. *American Trypanosomiasis Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. London. Elsevier Inc.; 2010. pp. 233-245.
- Gorla DE, Noireau F (2010) Geographic Distribution of Triatominae Vector in America. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. *American Trypanosomiasis Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. London. Elsevier Inc.; 2010. pp. 209-231.

- Grijalva MJ, Villacis AG, Ocana-Mayorga S, Yumiseva CA, Baus EG (2001) Limitations of selective deltamethrin application for triatomine control in central coastal Ecuador. *Parasit & Vectors*. 4: 20.
- Guhl F, Aufderheide A (2010) Chagas Disease in Pre-Colombian Civilizations. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. *American Trypanosomiasis Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. London. Elsevier Inc.; 2010. pp. 25-44.
- Gurevitz JM, Ceballos LA, Kitron U, Gürtler RE (2006) Factors affecting flight initiation of field *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) under natural climatic conditions. *J Med Entomol*. 43: 143–150.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017) Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=521830&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>.
- Imai K, Maeda T, Sayama Y, Mikita K, Fujikura Y, et al. (2014) Mother-to-Child Transmission of Congenital Chagas Disease, Japan. *Emerg Infect Dis* 20(1):146-148. doi:10.3201/eid2001.131071.
- Jander R (1963) Insect orientation. *Annu Rev Entomol* 8: 95-114.
- Junqueira ACV, Gonçalves TCM, Carvalho-Moreira CJ (2011) Manual de capacitação na detecção de *Trypanosoma cruzi* para microscopistas de malária e laboratoristas da rede pública. 2º ed – Rio de Janeiro: SCV/ICICT, 2011. 300p.
- Jurberg J, Galvão C (2006) Biology, ecology, and systematics of Triatominae (Heteroptera, Reduviidae), vectors of Chagas disease, and implications for human health. *Denisia* 19, zugleich Kataloge der OÖ. Landesmuseen. Neue Serie 50 (2006) 1096–1116. Disponível em: https://www.zobodat.at/pdf/DENISIA_0019_1095-1116.pdf.

- Jurberg J, Rocha DS, Galvão C (2009) *Rhodnius zeledoni* sp. nov. afim de *Rhodnius paraensis* Sherlock, Guitton & Miles, 1977 (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). *Biota Neotropica* 9: 123-128.
- Jurberg J, Rodrigues JMS, Moreira FFF, Dale C, Cordeiro IRS, Lamas Jr VD, et al. (2014) Atlas Iconográfico Dos Triatomíneos Do Brasil (Vetores Da Doença De Chagas). Laboratório Nacional e Internacional de Referência em Taxonomia de Triatomíneos. Instituto Oswaldo Cruz – Rio de Janeiro. 58p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Jurberg/publication/303815217_Atlas_Iconografico_dos_triatomineos_do_Brasil_Vetores_da_doenca_de_Chagas_Distribuidos_gratuitamente_pelo_email_jjurbergiocfiocruzbr/links/5755700608ae0405a5752966/Atlas-Iconografico-dos-triatomineos-do-Brasil-Vetores-da-doenca-de-Chagas-Distribuidos-gratuitamente-pelo-e-mail-jjurbergiocfiocruzbr.pdf.
- Justi SA, Galvão C (2017) The Evolutionary Origin of Diversity in Chagas Disease Vectors. *Trends Parasitol.* 33(1):42-52.
- Kirchhoff LV (1999) American trypanosomiasis (Chagas disease). In: Guerrant RL, Walker DH, Weller PF, editors. *Tropical Infectious Diseases: Principles, Pathogens, and Practice*. New York: Churchill Livingstone, pp.785–796.
- Lana M, Machado EMM (2010) Biology of *Trypanosoma cruzi* and Biological Diversity. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. *American Trypanosomiasis Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. London. Elsevier Inc.; 2010. pp. 339–363.
- Lazzari CR (1992) Circadian organization of locomotion activity in the haematophagous bug *Triatoma infestans*. *J Insect Physiol* 38: 895-903.
- Lazzari CR, Lorenzo MG (2009) Exploiting triatomine behaviour: alternative perspectives for their control. *Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 104(Suppl. I): 65-70*

- Lazzari CR, Pereira MH, Lorenzo MG (2013) Behavioural biology of Chagas vectors. Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 108(Suppl. I): 34-47.
- Lehane MJ, Schofield CJ (1976) Preliminary report on flight by some triatomine bugs. Trans R Soc Trop Med Hyg 70: 526.
- Lehane MJ, Schofield CJ (1981) Field experiments of dispersive flight by *Triatoma infestans*. Trans R Soc Trop Med Hyg 75: 399-400.
- Lehane MJ (2005) The Biology of Blood-Sucking in Insects. Cambridge. Cambridge University Press, 2^o edition; 2005. p. 312-209.
- Lent H, Wygodzinsky P (1979) Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas disease. Bul Amer Mus Nat Hist. 163: 520-529.
- Lorenzo MG, Flores GB, Lazzari CR, Reisenman CE (1999). Sensory ecology. A. Orientation. In: RU Carcavallo, I Galindez-Giron, J Jurberg, H Lent (eds.), Atlas of Chagas' disease vectors in America, Vol. III, Fiocruz, Rio de Janeiro, p. 1071-1087.
- Lorenzo MG, Lorenzo Figueiras AN, Manrique G, Pires HHR, Vitta ACR, et al. (2000) Chemical signals involved in the communication of triatomine bugs. Mem Inst Oswaldo Cruz 95 (Suppl. II): 60-61.
- Luz C, Tigano MS, Silva IG, Cordeiro CM, Aljanabi SM (1998) Selection of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates to control *Triatoma infestans*. Mem Inst Oswaldo Cruz. Nov-Dec;93(6):839-46.
- Maciel-de-Freitas R, Lourenço-de-Oliveira R (2009) Presumed unconstrained dispersal of *Aedes aegypti* in the city of Rio de Janeiro, Brazil. Rev. Saúde Pública vol.43 no.1 São Paulo. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102009000100002>.
- MacKenzie DI, editor (2006) Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species. Amsterdam; Boston: Elsevier; 2006.

- Ministério do Planejamento (2017) Melhorias habitacionais para o combate à doença de chagas. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/obra/17579>.
- Ministério da Saúde (2015) Secretaria de Vigilância em Saúde – Boletim Epidemiológico. *Doença de Chagas aguda do Brasil: série histórica de 2000 a 2013*. Vol. 46;21. Disponível em: <http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2015/agosto/03/2014-020..pdf>.
- Molyneux DH (2010) Neglected tropical diseases—beyond the tipping point? *Lancet* 375:3–4. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61914-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61914-0).
- Moncayo A, Silveira AC (2009) Current epidemiological trends for Chagas disease in Latin America and future challenges in epidemiology, surveillance and health policy. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. Jul;104 Suppl 1:17-30.
- Monteiro FM, Donnelly MJ, Beard CB, Costa J (2004) Nested clade and phylogeographic analyses of the Chagas disease vector *Triatoma brasiliensis* in northeast Brazil. *Mol Phylogenet Evol*. 32:46-56.
- Monteiro FA, Jurberg J, Lasoki C (2009) Very low levels of genetic variation in natural peridomestic populations of the Chagas disease vector *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in Southeastern Brazil. *Am J Trop Med Hyg*. 81: 223-227.
- Moraes-Souza H, Ferreira-Silva MM (2011). Controle da transmissão transfusional. *Rev Soc Bras Med Trop*. 44 supl 2:64-7.
- Muir LE, Kay BH (1998) *Aedes aegypti* survival and dispersal estimated by mark-release-recapture in northern Australia. *Am J Trop Med Hyg*. 1998 Mar;58(3):277-82.
- Morel CM, Lazdins L (2003) Chagas disease. *Nature Reviews Microbiology* London: Nature Publishing Group. p.14-15.

- Nayar JK (1981) *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae): observations on dispersal, survival, insemination, ovarian development and oviposition characteristics of a Florida population. *J Fla Anti-Mosquito Assoc* 52: 24–40.
- Noireau, F, Brenière, F, Ordoñez J, Cardozo L, Morochi W, Gutierrez T, et al. (1997) Low probability of transmission of *Trypanosoma cruzi* to man by domestic *Triatoma sordida* in Santa Cruz department, Bolivia. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 91, 653-656.
- Noireau F, Flores R, Gutierrez T, Abad-Franch F, Flores E, Vargas F (2000) Natural ecotopes of *Triatoma infestans* dark morph and other sylvatic triatomines in the Bolivian Chaco. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 94: 23-27.
- Noireau F, Dujardin JP (2001) Flight and nutritional status of sylvatic *Triatoma sordida* and *Triatoma guasayana*. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 96: 385-389.
- Noireau F, Carbajal-De-La-Fuente AL, Lopes CM, Diotaiuti L (2005) Some considerations about the ecology of Triatominae. *Ann. Acad. Bras. Cienc.* 77, 431–436, <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652005000300006>.
- Noireau F, Dujardin JP (2010) Biology of Triatominae. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. *American Trypanosomiasis Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. London. Elsevier Inc.; 2010. pp.149-168.
- Oliveira AWS, Silva IG (2007) Distribuição geográfica e indicadores entomológicos de triatomíneos sinantrópicos capturados no estado de Goiás. *Rev Soc Bras Med Trop* 40: 204-208.
- OMS (1983) Integrated vector control. WHO Technical report Series 688.
- OMS (1991) Control of Chagas Disease. Technical Report Series 811. Geneva: WHO.
- OMS (2002) Control of Chagas Disease. Second report of the WHO Expert Committee. Technical Report Series 905. Geneva.

- OMS (2007) Global Plan to combat Neglected Tropical Diseases, 2008–2015.
- OMS (2008) Chagas Disease: control and elimination. Report of the Secretariat.
- OMS (2010) Working to overcome the global impact of neglected tropical diseases: first WHO report on neglected tropical diseases. WHO, Geneva, Switzerland. whqlibdoc.who.int.
- OMS (2015) Chagas disease in Latin America: an epidemiological update based on 2010 estimates. *Wkly Epidemiol Rec.* 2015 Feb; 90(6):33-44.
- Patterson JS, Guhl F (2010) Geographical Distribution of Chagas Disease. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. *American Trypanosomiasis Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. London. Elsevier Inc.; 2010. pp. 83-115.
- Pelli A, Silva MA, Sarmiento FR, Martins E, Mata SA, et al. (2007) Parâmetros populacionais para *Triatoma sordida* Stal, 1859, o vetor mais freqüente da doença de Chagas no Triângulo Mineiro (Heteroptera, Triatominae). *Rev da Soc Bras de Med Trop.* 40(1):25-28.
- Pereira JM, de Almeida PS, de Sousa AV, de Paula AM, Machado RB, Gurgel-Gonçalves R (2013) Climatic factors influencing triatomine occurrence in Central-West Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 108: 335-341.
- Pires HHR, Lorenzo MG, Lazzari CR, Diotaiuti L, Manrique G (2004). The sexual behaviour of *Panstrongylus megistus* (Hemiptera: Reduviidae): an experimental study. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 99: 295-300.
- Prefeitura de Posse – GO (2016) Saúde Municipal entrega mais cinco casas no Programa de Combate à Doença de Chagas em Posse. Disponível em: <http://www.posse.go.gov.br/index.php/noticia/view/saude-municipal-entrega-mais-cinco-casas-no-programa-de-combate-a-doenca-de-chagas-em-posse/574>

- Reisenman CE, Lazzari CR, Giurfa M (1998). Circadian control of photonegative sensitivity in the haematophagous bug *Triatoma infestans*. J Comp Physiol A 183: 533-541.
- Requena-Méndez A, Albajar-Viñas P, Angheben A, Chiodini P, Gascón J, Muñoz J, et al. (2014) Health Policies to Control Chagas Disease Transmission in European Countries. PLoS Negl Trop Dis 8(10): e3245. doi:10.1371/journal.pntd.0003245.
- Requena-Méndez A, Aldasoro E, Lazzari E, Sicuri E, Brown M, Moore DA, et al. (2015) Prevalence of Chagas disease in Latin-American migrants living in Europe: a systematic review and meta-analysis. PLoS Negl Trop Dis. 2015 Feb; 9(2): e0003540.
- Rey L (2001) Parasitologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 856p.
- Rich C, Longcore T (2006) Ecological consequences of artificial night lighting, Island Press, Washington, 458 pp.
- Rosa JA, Rocha CS, Gardim S, Pinto MC, Mendonça VJ, Ferreira Filho JCR et al. (2012) Description of *Rhodnius montenegrensis* n. sp. (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) from the State of Rondônia, Brazil. Zootaxa 3478: 62-76.
- Rossi JC, Duarte EC, Gurgel-Gonçalves R (2015) Factors associated with the occurrence of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in rural localities of Central-West Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz. 110: 192-200.
- Santos RL, Forattini OP (1999) Marking-release-recapture methods for determining the size of the natural population of *Anopheles albitarsis* (Diptera:Culicidae). Rev Saude Publica. 33(3):309-13.
- Sarquis O, Borges-Pereira J, Mac Cord JR, Gomes TF, Cabello PH, Lima MM (2004) Epidemiology of Chagas disease in Jaguaruana, Ceará. Brazil. I. Presence of triatomines and index of *Trypanosoma cruzi* infection in four localities of a rural area. Mem Inst Oswaldo Cruz 99:263–270.

- Sarquis O, Carvalho-Costa FA, Toma HK, Georg I, Burgoa MR, Lima MM (2012) Eco-epidemiology of Chagas disease in northeastern Brazil: *Triatoma brasiliensis*, *T. pseudomaculata* and *Rhodnius nasutus* in the sylvatic, peridomestic and domestic environments. *Parasitol Res.* 110:1481-5.
- Schaub GA (1989) *Trypanosoma cruzi*: quantitative studies of development of two strains in small intestine and rectum of the vector *Triatoma infestans*. *Experimental Parasitology* 68, 260–273.
- Schmunis GA (1999) A Tripanossomíase Americana e seu impacto na saúde pública das Américas. In: *Trypanosoma cruzi e doença de Chagas* (Brener Z, Andrade AA, Barral-Netto M, org.), pp.1-15, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan Editora.
- Schofield CJ (1985) Population dynamics and control of *Triatoma infestans*. *Ann Soc Belge de Méd Trop* 65 (Suppl. 1): 149-164.
- Schofield CJ, Lehane MJ, McEwen P, Catala SS, Gorla DE (1992) Dispersive flight by *Triatoma infestans* under natural climatic conditions in Argentina. *Med Vet Entomol* 6: 51-56.
- Schofield CJ (1994) *Triatominae - Biology & Control*. Eurocommunica Publications. West Sussex, UK, 80 p.
- Schofield CJ (1988) Biosystematics of the Triatominae. In: Service MW, editor. *Biosystematic of Haematophagous Insects*, Special vol. 37. Clarendon Press, Oxford, pag. 284-312.
- Schofield CJ, Matthews JNS 1985. Theoretical approach to active dispersal and colonization of houses by *Triatoma infestans*. *J Trop Med Hyg* 88: 211-222.
- Schofield CJ, Lehane MJ, McEwan P, Catala SS, Gorla DE (1991) Dispersive flight by *Triatoma sordida*. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 85: 676-678.

- Schofield CJ, Dias JCP (1999) The Southern Cone Initiative against Chagas disease. *Adv Parasitol* 42: 1-27.
- Schofield CJ, Jannin J, Salvatella R (2006). The future of Chagas disease control. *Trends in Parasitology* 22: 583-588.
- Schofield CJ, Galvão C (2009) Classification, evolution, and species groups within the triatomine. *Acta Trop.* 110:88-100.
- Schweigmann N, Vallvé S, Muscio O, Guillini M, Alberti A, Wisnivesky-Colli C (1988) Dispersal flight by *Triatoma infestans* in an arid area of Argentina. *MedVetEntomol* 2: 401-404.
- Service MW 1993. *Mosquito Ecology – Field Sampling Methods*, Chapman & Hall, London, 988 pp.
- Silva MBA, Menezes KR, Farias MCG, Andrade MS, Victor CCA, Lorosa ES, et al. (2017) Description of the feeding preferences of triatominae in the Chagas disease surveillance study for the State of Pernambuco, Brazil (Hemiptera: Reduviidae). *Rev Soc Bras Med Trop.* 50(4):543-546. doi: 10.1590/0037-8682-0334-2016.
- Silveira AC (2002). El control de la enfermedad de chagas en los países del Cono Sur de América: *História de una iniciativa internacional*. Uberaba: Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro.
- Silveira AC, Vinhaes M (1998) Doença de Chagas: aspectos epidemiológicos e de controle. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 31 (supl. 2): 15-60.
- Silveira AC, Vinhaes MC, Lira E, Araújo E, 2001. O controle de *Triatoma brasiliensis* e *Triatoma pseudomaculata*. I: estudo do tempo de reposição das condições de transmissão em áreas submetidas a tratamento químico domiciliar, e de variáveis ambientais relacionadas. Brasília, Brasil: Organização Panamericana de Saúde (OPAS), 86.

- Silveira AC, Dias JCP (2011) O controle da transmissão vetorial. Rev Soc Bras Med Trop. Vol. 44 (2): 52-63.
- Sosa-Estani S, Segura EL (2015) Integrated control of Chagas disease for its elimination as public health problem - A Review. Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 110(3): 289-298.
- Southwood TRE, Handerson PA (2000) Ecological Methods. Blackwell Science Ltd. Oxford, England. 3^{ed}. p575.
- Valença-Barbosa C, Sarquis O, Freire AS, David MR, Santelli RE, Monteiro FA, et al. (2016) Marking *Triatoma brasiliensis*, *Triatoma pseudomaculata* and *Rhodnius nasutus* Nymphs with Trace Elements: Element Persistence and Effects of Marking on Insect Mortality. PLoS Negl Trop Dis 10(3): e0004548. doi:10.1371/journal.pntd.0004548.
- Vazquez-Prokopec GM, Ceballos LA, Kitron U, Gurtler RE (2004) Active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in rural northwestern Argentina. J Med Entomol 41: 614-621.
- Vazquez-Prokopec GM, Ceballos LA, Marcet PL, Cecere MC, Cardinal MV, Kitron U, et al. (2006) Seasonal variations in active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* in rural north-western Argentina. Med. Vet. Entomol. 20: 273-279.
- Ventura-Garcia L, Roura M, Pell C, Posada E, Gascón J, et al. (2013) Socio-Cultural Aspects of Chagas Disease: A Systematic Review of Qualitative Research. PLoS Negl Trop Dis 7(9): e2410. doi:10.1371/journal.pntd.0002410.
- Verhulst NO, Loonen JA, Takken W (2013) Advances in methods for colour marking mosquitoes. Parasit Vectors. 8;6(1):200. doi: 10.1186/1756-3305-6-200.

- Vianna EN, Souza E Guimarães RJP, Souza CR, Gorla D, Diotaiuti L (2017) Chagas disease ecoepidemiology and environmental changes in northern Minas Gerais state, Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz. Nov;112(11):760-768. doi: 10.1590/0074-02760170061.
- Villela DAM, Codeço CT, Figueiredo F, Garcia GA, Maciel-de-Freitas R, Struchiner CJ. (2015) A Bayesian Hierarchical Model for Estimation of Abundance and Spatial Density of *Aedes aegypti*. PLoS One.10: e0123794.
- Villela DAMV, Garcia GA, Maciel-de-Freitas R (2017) Novel inference models for estimation of abundance, survivorship and recruitment in mosquito populations using mark-release-recapture data. PLoS Negl Trop Dis. 11: e0005682.
- Williams-Blangero S, Vandeberg, JL, Blangero J, Teixeira ARL (1997) Genetic epidemiology of *Trypanosoma cruzi* infection in rural Goiás, Brazil. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 57:538-543.
- Williams-Blangero S, Vandeberg J L, Teixeira ARL (1999) Attitudes towards Chagas' disease in an endemic Brazilian community. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 15(1):7-13, jan-mar.
- Williams-Blangero S, Magalhaes T, Rainwater E, Blangero J, Corrêa-Oliveira R, Vandeberg JL (2007) Electrocardiographic characteristics in a population with high rates of seropositivity for *Trypanosoma cruzi* infection. Am J Trop Med Hyg. Sep;77(3):495-9.
- Williams-Blangero S, Vandeberg JL, Blangero J, Vandeberg JL (2011) Genetic Epidemiology of Chagas Disease. Chapter 7 in: Tanowitz HB, Weiss LM, Kirchhoff LV, Editors. Advances in Parasitology, Volume 75. 2011 Elsevier Ltd. Pp 148-149. ISSN 0065-308X, DOI: 10.1016/B978-0-12-385863-4.00007-1.

7. ANEXO 1

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Dados de identificação

Título do Projeto: Aspectos ecológicos de triatomíneos silvestres e domiciliares em áreas endêmicas de doença de Chagas no Brasil

Pesquisador Responsável: Rafael Maciel de Freitas

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz - RJ

Telefones para contato: (21) 2562-1285 - (21) 2562-1328

Nome do voluntário: RONILDA MENEZES DOS SANTOS GOMARÃES

Idade: 34 anos

R.G. 9993872

Responsável legal (quando for o caso): _____

R.G. Responsável legal: _____

O Sr. (a) está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa "Aspectos ecológicos de triatomíneos silvestres e domiciliares em áreas endêmicas de doença de Chagas no Brasil", de responsabilidade do pesquisador Rafael Maciel de Freitas.

Esse projeto de pesquisa tem como principal objetivo avaliar o quanto os insetos barbeiros são capazes de andar entre diferentes ambientes, ou seja, como eles chegam até os galinheiros, currais e afins, e também dentro das casas. Acreditamos que, desta maneira, seremos capazes de entender melhor como os insetos Barbeiros transmitem o parasito causador da doença de Chagas nesses ambientes de Cerrado no Brasil. Para isso, vamos recorrer a liberação de barbeiros marcados nos ambientes peridomiciliar e silvestre e acompanharemos seu deslocamento entre esses ambientes.

A marcação empregada consistirá de pó fluorescente ou de elementos traço (são elementos químicos que serão oferecidos aos barbeiros para que possamos saber de onde eles vieram no futuro), para marcação dos insetos, dependendo de usarmos os insetos já adultos ou seus filhotes, dependendo do experimento em questão, independentemente do método de marcação, não acarreta risco para os moradores. A coleta desses barbeiros será realizada mensalmente, nos locais onde capturamos os insetos pela primeira vez e depois os soltamos, e em outros pontos escolhidos pela nossa equipe, levando em consideração a possibilidade de captura dos insetos marcados e também de insetos não marcados. Os moradores que optarem por participar do estudo receberão a visita mensal da equipe do projeto, que realizará a coleta dos barbeiros em seu terreno/domicílio. Além disso, terão a disposição o número de telefone do coordenador do projeto para sanar qualquer dúvida referente à metodologia, execução ou resultados deste projeto. Garantimos ainda que todos os moradores que permitirem a coleta dos barbeiros terão suas informações privadas mantidas sob confidencialidade e que os resultados do estudo serão divulgados para os voluntários envolvidos no projeto, assim como, para as autoridades de saúde do Município. Caso ocorra algum evento adverso relativo a pesquisa, e o morador sinta a necessidade de um contato local, segue abaixo o telefone da Secretaria de Saúde local.

Rosana Maria da Silva Conhá – Secretária Municipal de Saúde, Posse – Goiás

Telefones: (62) 3481-3226 / (62) 9653-2907

Qualquer dúvida sobre os direitos assegurados por esse termo pode ser esclarecida entrando em contato com o Comitê de Ética (CEP Fiocruz) responsável pela autorização desse estudo, através dos telefones e/ou endereço disponibilizado no rodapé deste documento. Eu, RONILDA M. DOS SANTOS GOMARÃES, RG nº 9993872 declaro ter sido informado e concordo em participar, como voluntário, do projeto de pesquisa acima descrito.

Posse, 36 de Julho de 2014

Ronilda m dos santos
Nome e assinatura do voluntário

Testemunha

Testemunha

Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Oswaldo Cruz (CEP Fiocruz/IOC)
Avenida Brasil, 4.036 - Sala: 705 (Prédio da Expansão) Manguinhos, RJ - CEP: 21.040-360
Tels: (21) 3882-9011, Fax: (21) 2561-4815, E-mail: etica@fiocruz.br.