

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**INSTITUTO DE BIOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA E PARASITOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA E PARASITOLOGIA**



Tese

**Influência das mudanças climáticas nos padrões atuais e futuros  
de distribuição e eclodibilidade de ovos de *Rhipicephalus (Boophilus)*  
*microplus* (Acari: Ixodidae) no mundo**

**Roberta Marques**

**Pelotas, 2020**

**Roberta Marques**

**Influência das mudanças climáticas nos padrões atuais e futuros  
de distribuição e eclodibilidade de ovos de *Rhipicephalus (Boophilus)*  
*microplus* (Acari: Ixodidae) no mundo**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia e Parasitologia do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências (área de conhecimento: Parasitologia).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ferreira Krüger

Co-Orientador: Dr. Andrew Townsend Peterson

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

M357i Marques, Roberta

Influência das mudanças climáticas nos padrões atuais e futuros de distribuição e eclodibilidade de ovos de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) no mundo / Roberta Marques ; Rodrigo Ferreira Krüger, orientador ; Andrew Townsend Peterson, coorientador. — Pelotas, 2020.

99 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Carrapato. 2. Modelagem. 3. Nicho ecologico. 4. Vetor de parasitos. 5. Adequabilidade ambiental. I. Krüger, Rodrigo Ferreira, orient. II. Peterson, Andrew Townsend, coorient. III. Título.

CDD : 595.429

Roberta Marques

Influência das mudanças climáticas nos padrões atuais e futuros  
de distribuição e eclodibilidade de ovos de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*  
(Acari: Ixodidae) no mundo

Tese aprovada como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutora em Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 28 de fevereiro de 2020

Banca examinadora:

---

Dr<sup>a</sup>. Nara Amélia Farias

---

Dr. Enrique Martínez Meyer

---

Dr. Rafael Antunes Dias

---

Dr. Juliano Lessa Pinto Duarte

---

Dr. Rodrigo Ferreira Krüger  
(Orientador)

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família: meus pais Sebastião e Clotilde (*in memoriam*), que me ensinaram a dar os primeiros passos na vida, me deram todo o amor, carinho e afeto que um filho pode receber. Agradeço por terem me ensinado o propósito da palavra “determinação”, e por terem me dado todo apoio fundamental em minha carreira acadêmica. Aos meus irmãos que sempre me auxiliaram, mesmo estando esses 4 anos de doutorado longe, foram essenciais durante a trajetória.

Aos demais familiares queridos, que sempre me apoiaram com palavras de carinho e incentivo. Agradeço em especial à Dani, minha querida amiga e sobrinha, que sempre tem uma palavra certa nos momentos difíceis. Obrigada, minha pequena!

Agradeço ao meu amor e companheiro, Daniel, para todas as horas e momentos, independentemente de quais foram, ele sempre esteve para mim nesta última etapa do doutorado. A gratidão é enorme e, sempre será.

Às novas amigas que o doutorado me proporcionou, no Brasil e fora dele, aquelas pessoas que me “adotaram” como família durante o período que desenvolvi parte do doutorado no exterior: Eliane, Daniel Romero (maldito!), Gaby e Pavel. Agradeço pela ajuda que tive, pelas conversas, conselhos, trabalhos, debates, jantares e, principalmente à amigas de vocês que levarei pelo resto da vida. Gratidão é a palavra que define os meses que passamos nos EUA.

Àqueles amigos que sempre me acolhem para comer ou passar um tempo com eles: o casal de incoentes Fabí e Hugo. Vocês são incríveis e fizeram parte dessa etapa e, sei que não acaba aqui, mesmo estando longe a amizade é sincera. Dou grata por ter vocês na minha vida, presentes da pós graduação.

Agradeço aos colegas do LEPAV que sempre acreditaram e ajudaram no desenvolvimento deste projeto: Grati, Lari e Nati. Vocês sabem que foram indispensáveis neste período em que trabalhamos juntas. Talvez eu não teria construído todas as linhas de Excel sem o auxílio de vocês. Obrigada!

Ao meu orientador, professor Dr. Rodrigo F. Krüger, agradeço pela compreensão, auxílio, oportunidade e confiança. Agradeço também ao Town (Dr.

Andrew Townsend Peterson), meu coorientador, que me aceitou em seu laboratório, me ensinou muito e segue sendo um exemplo, não só de pesquisador, mas de pessoa também. Obrigado a ambos pela oportunidade e ensinamentos.

A todos os professores que tive durante o doutorado e aos funcionários dos Laboratórios de Parasitologia, os quais foram indispensáveis nesta etapa da minha vida, compartilhando seus conhecimentos e experiências acadêmicas.

Às colegas e amigas: Thainá, Fabi e Mirian, pelas conversas, apoio, conselhos e chimarrão. Parcerias para qualquer dia.

Ao *Biodiversity Institute, University of Kansas*, principalmente ao Marlon Cobos pelo auxílio na realização das análises, pela paciência e pelos ensinamentos. Ao professor Dr. Jorge Soberón pelos ensinamentos e discussão de *papers* durante minha estadia nos EUA.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-graduação em Microbiologia e Parasitologia e à CAPES que possibilitaram a realização do projeto e do Doutorado Sanduíche no exterior, meu muito obrigada!

## Resumo

MARQUES, Roberta. **Influência das mudanças climáticas nos padrões atuais e futuros de distribuição e eclodibilidade de ovos de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) no mundo**. 2020. 99f. Tese (Doutorado Ciências Biológicas: área de conhecimento: Parasitologia) – Programa de Pós Graduação em Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

As mudanças climáticas podem ter influência sobre a distribuição e ciclo de vida de artrópodes, que são vetores de patógenos, atuando na incidência de doenças parasitárias. O carrapato *R. (B.) microplus* está associado as perdas econômicas de animais de produção, devido à expoliação e transmissão de protozoários *Babesia bovis*, *B. bigemina*, e a bactéria *Anaplasma marginale*, que afetam o gado causando o emagrecimento dos animais infectados e, conseqüentemente, perdas econômicas, podendo levá-los à morte. Esse carrapato ocupa espaços geográficos nas Américas, África e Ásia e, devido a sua importância vetorial, é necessário indicar as variáveis climáticas que modulam a distribuição dessa espécie, bem como, entender o impacto das mudanças climáticas sobre a sua fase de vida livre (no ambiente). Neste estudo modelamos a influência das mudanças climáticas sobre a distribuição e eclosão de ovos de *R. (B.) microplus*, considerando dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCPs 4.5 e 8.5) para dois períodos futuros (2050 e 2070). Através de dados de ocorrência da espécie, limites fisiológicos e modelos estatísticos, foram identificadas as variáveis ambientais responsáveis pela distribuição do carrapato, além de indicar áreas geográficas adequadas à sua distribuição, frente às mudanças climáticas. Indicamos também as áreas com as condições ambientais aptas para os percentuais de eclodibilidade de ovos de *R. (B.) microplus* e, como as condições ambientais futuras impactarão esses percentuais. Nossos resultados anteciparam aumentos de áreas de adequabilidade ambiental para o carrapato em todo o mundo, principalmente nas áreas de maior produção para gado. A região indo-malaia resultou como a mais vulnerável nas duas projeções de mudança climática para 2050, com aumentos de adequação > 30%. Este estudo também indicou o acréscimo de áreas aptas a eclosão dos ovos em todos os cenários futuros, principalmente para o RCP 8.5 (2070), para os percentuais de eclosão maiores de 50% em que os acréscimos (~15%) foram indicados para a América Central, sul do Brasil, centro e oeste da África, Indonésia e Malásia. Através desse estudo mostramos como o clima influencia na distribuição e na modulação de eclodibilidade de ovos de *R. (B.) microplus*, além disso, indicamos como as mudanças climáticas futuras atuarão sobre essa espécie e quais as principais áreas geográficas aptas ao carrapato e, conseqüentemente de maiores chances de transmissão de patógenos associados a animais silvestres e de produção.

**Palavras-chave:** carrapato; aquecimento global; modelagem, nicho ecológico; vetor de parasitos

## Abstract

MARQUES, Roberta. **Influence of climatic change on current and future patterns of distribution and hatchability eggs of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in the world.** 2020. 99p. Thesis (Doctorate degree in Ciências Biológicas: área de conhecimento: Parasitologia) – Programa de Pós Graduação em Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas , 2020.

Climatic change may have an influence on the distribution and life cycle of arthropods, which are vectors of pathogens, acting on the incidence of parasitic diseases. The *R. (B.) microplus* tick is associated with economic losses of livestock animals, due to the expoliation and transmission of *Babesia bovis*, *B. bigemina* protozoans, and the bacteria *Anaplasma marginale*, which affect cattle causing the weight of infected animals and consequently, economic losses, which can lead to death. This tick occupies geographical spaces in the Americas, Africa and Asia and, due to its vectorial importance, it is necessary to indicate the climatic variables that modulate the distribution of this species, as well as to understand the impact of climate change on its free life stage (in the environment). In this study we model the influence of climate change on the distribution and hatching eggs of *R. (B.) microplus*, considering two scenarios of greenhouse emissions (RCPs 4.5 and 8.5) for two future periods (2050 and 2070). Through species occurrence data, physiological limits and statistical models, the environmental variables responsible for the distribution of the tick were identified, in addition to indicating geographic areas suitable for their distribution in the face of climate change. We also indicate the areas with the appropriate environmental conditions for the hatchability eggs percentages of *R. (B.) microplus* and how the future environmental conditions will impact on these percentages. Our results anticipated increases in areas of environmental suitability for ticks around the world, especially in areas of higher livestock production. The Indo-Malaysian region proved to be the most vulnerable in the two climate change projections for 2050, with adequacy increases > 30%. This study also indicated the addition of areas suitable for hatching of eggs in all future scenarios, mainly for RCP 8.5 (2070), for hatching percentages greater than 50% in which additions (~ 15%) were indicated for the Central America, southern Brazil, central and western Africa, Indonesia and Malaysia. Through this study we show how the climate influences the distribution and the hatchability modulation of *R. (B.) microplus* eggs, in addition, we indicate how future climate changes will affect this species and which are the main geographic areas suitable for tick and, consequently, greater chances of transmission of pathogens associated with wild animals and livestock.

**Key-words:** tick; global warming; modelling, ecologic niche; parasite's vector

## Sumário

1. Introdução	9
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. Revisão de literatura	13
3.1. Macroecologia, nicho ecológico e distribuição de espécies	13
3.2. Mudanças climáticas atuais e futuras: impacto sobre a distribuição e abundância de vetores de patógenos	16
3.3. Ecologia e biologia de <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i>	19
3.4. Modelos de distribuição e abundância de <i>Rhipicephalus</i> ( <i>Boophilus) microplus</i>	21
4. Artigo 1	24
5. Artigo 2	58
6. Considerações finais	83
Referências	84
Anexo	98

## 1. Introdução

Nas últimas duas décadas gerou-se um amplo consenso de que a Terra está se aquecendo em uma velocidade sem precedentes (MCMICHAEL et al, 2003, IPCC, 2014) e, que além dos eventos naturais, a maior parte do aquecimento global, detectado nos últimos 50 anos, provém de atividades humanas, fato comprovado através de fortes evidências (IPCC 2014 ). Desde a revolução industrial, tem havido o aumento das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) antropogênicos, sendo emitidas grandes concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso para a atmosfera terrestre. Seus efeitos foram detectados em toda a Terra e, juntamente com fenômenos atmosférico-oceânicos naturais, representam as causas dominantes do aquecimento global observado desde meados do século XIX (MARENGO & SOARES, 2003; IPCC, 2014 - SYNTESIS REPORT, p.4; MARENGO, 2014).

Alterações climáticas, como o aumento da temperatura e a modificação dos regimes de pluviosidade, são reflexos do aquecimento global (IPCC, 2007; KERR, 2007). Assim sendo, existe a estimativa de que para 2100, devido às emissões de gases de efeito estufa (GEE), a temperatura média aumente 1,5°C no cenário otimista, e 4,6° C no cenário pessimista; além de variar a precipitação anual no mundo, podendo causar fortes chuvas em algumas regiões geográficas, bem como, a escassez dela em outras regiões de menores latitudes (IPCC, 2014).

Estudos indicam que as alterações no clima podem impactar significativamente as populações e a distribuição de espécies. Por isso, estratégias de modelagem para prever os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade têm sido desenvolvidas (PEARSON & DAWSON, 2003; MINÁŘ et al, 2007), incluindo espécies de parasitos e vetores importantes em saúde pública e animal (PETERSON et al, 2006; PETERSON et al, 2009; CECCARELLI et al, 2015; MCINTYRE et al, 2017; MARQUES et al, 2017). Conforme o IPCC (2014, p.51), alterações locais na temperatura, precipitação e umidade têm o poder de alterar a distribuição de algumas espécies de organismos que são patogênicos ao homem e/ou animais, já que o limiar de fatores bioclimáticos interfere na dinâmica dos vetores e dos agentes patogênicos transmitidos por eles (MCMICHAEL et al, 2003).

Do ponto de vista ambiental, as implicações decorrentes dos eventos climáticos desencadeiam uma série de reações biológicas, em que o desenvolvimento de doenças, como as parasitárias, provêm destas situações (VAZ, 2010).

Compreender a distribuição das espécies, considerando grandes escalas de tempo e espaço é o proposto pela macroecologia (BROWN & MAURER, 1987; 1989; LEVIN, 1992; BROWN, 1995; GASTON & BLACKBURN, 2000). Assim, através da abordagem macroecológica, são desenvolvidos modelos estatísticos, a partir de dados empíricos, os quais pressupõem que os padrões observados são consequência direta da influência de variáveis que exercem papel fundamental para determinação do nicho das espécies (ARAÚJO & PERSON, 2005), como o clima, habitat, interações bióticas, limitação de recursos e restrição energética (BROWN et al, 2003 p.413; HAWKINS et al, 2003; KEARNEY et al, 2010).

Segundo Beck et al (2012) os estudos envolvendo a modelagem de nicho das espécies de invertebrados ainda são escassos, principalmente aqueles com foco nas espécies que atuam como vetores de parasitos importantes em saúde pública e sanidade animal. Contudo, algumas publicações recentes, que enfatizam estudos com artópodes, já utilizaram a modelagem de nicho ecológico para predizer novas áreas de ocorrência de vetores de patógenos com importância em saúde pública e animal (DE CLERCQ et al, 2013; CARVALHO et al, 2015; CECCARELLI et al, 2015; FERRO et al, 2015; SANCHEZ et al, 2015; PERKINS et al, 2016; MARQUES et al, 2017; MCINTYRE et al, 2017; LETA et al, 2018, CHAVY et al, 2019).

Artrópodes podem ser ectoparasitos e alguns deles atuam como vetores de patógenos de humanos e/ou animais (REY, 2008, p.691 e 783), como carrapatos da família Ixodidae, que compreende 702 espécies distribuídas em 14 gêneros (GUGLIELMONE et al, 2010). A espécie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1887) é um importante ectoparasito hematófago de animais de produção, domésticos e silvestres, capaz de transmitir patógenos causadores de doenças (CASTRO, 1997; CAFRONE et al, 1995; DIAS FILHO et al, 2007; POUND et al, 2010). Além disso, este carrapato pode ser encontrado em humanos (KAUR et al, 2019).

O hospedeiro primário de *R. (B.) microplus* é o bovino, no qual a presença do carrapato e suas altas infestações estão correlacionadas às perdas econômicas, devido à transmissão de agentes patogênicos, como os protozoários *Babesia bovis*,

*B. bigemina*, e a bactéria *Anaplasma marginale*, que são agentes causadores da doença conhecida como “tristeza parasitária bovina”, a qual propicia o emagrecimento dos animais infectados, gerando grandes perdas econômicas, podendo levá-los à morte (GRISI et al, 2014). Além disso, o carrapato também é responsável pela vetorização de outras espécies de *Anaplasma* e *Ehrlichia* que acometem os rebanhos bovinos (JONES et al, 1972; UILENBERG et al, 1979; MCKOSKER, 1981; MATYSIAK et al, 2016).

*Rhipicephalus (B.) microplus*, popularmente conhecido como carrapato do boi, é originário da Ásia (ROCHA, 2003; LABRUNA et al, 2009), porém, desenvolve-se bem em outros continentes, como na África e nas Américas, onde encontrou condições ambientais ótimas ao desenvolvimento e estabelecimento de suas novas populações, que são consideradas geneticamente distintas daquelas encontradas no seu continente de origem (LABRUNA et al, 2009; BURGER et al, 2014). Na América do Sul, a espécie ocorre em regiões tropicais e subtropicais (DE CLERCQ et al, 2013; EVANS & GUGLIELMONE, 2000).

Assim, dentro da perspectiva da modelagem de abundância e de distribuição de espécies, é possível abordar as consequências das mudanças climáticas sobre as populações de vetores (KERR et al, 2007). Desta forma, é possível prever novos espaços geográficos aptos à permanência ou ao estabelecimento das populações, porque devido a essas modificações, existem mecanismos que impactam a saúde humana e animal, entre eles estão as exposições indiretas, através das condições ambientais (IPCC, 2007). Os impactos previstos sobre a ecologia das populações de *R. (B.) microplus*, podem levar a inferência de locais com maiores riscos de transmissão de patógenos aos rebanhos bovinos mundiais, melhorando a compreensão dos determinantes climáticos e espaciais que atuam indiretamente na transmissão de patógenos associados a este vetor

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

Modelar a adequabilidade ambiental, a distribuição e a eclodibilidade de ovos de *R. (B.) microplus* em todo o mundo, para os cenários atual e futuros, frente às mudanças climáticas.

### **2.2. Objetivos específicos**

Modelar a adequabilidade ambiental e a distribuição geográfica potencial de *R. (B.) microplus* em todo o mundo, para o presente e futuro, para dois cenários de mudanças climáticas.

Determinar quais as variáveis climáticas que mais influenciam na distribuição geográfica potencial de *R. (B.) microplus*.

Determinar as modificações na extensão geográfica quanto à adequabilidade ambiental e distribuição potencial de *R. (B.) microplus* frente às mudanças climáticas.

Indicar regiões mundiais de produção de gado com maiores riscos de infestações por *R. (B.) microplus*, no presente e nos cenários futuros.

Modelar as áreas com percentual de eclodibilidade de ovos de *R. (B.) microplus* em todo o mundo, através de variáveis que mais influenciam no desenvolvimento do ectoparasito durante a fase ovo.

Avaliar a influência do clima futuro na eclosão de ovos de *R. (B.) microplus* em todo o mundo.

### **3. Revisão de Literatura**

#### **3.1. Macroecologia, nicho ecológico e distribuição de espécies**

Compreender a riqueza, abundância e distribuição das espécies, considerando grandes escalas de tempo e espaço, é o proposto pela macroecologia (BROWN & MAURER, 1987; 1989; LEVIN 1992; BROWN, 1995; GASTON & BLACKBURN, 2000). Ela auxilia no desenvolvimento de modelos ecológicos, pressupondo, em parte, que os padrões observados são consequência direta da influência do clima sobre as distribuições geográficas das espécies, resultando em um acúmulo dessas, em regiões geográficas com climas mais propícios ao estabelecimento de uma população (ARAÚJO & PERSON, 2005).

A macroecologia permite modelar e verificar se existem padrões na distribuição das espécies (“por que uma espécie está onde está?”), através da análise de variáveis, tais como: área de distribuição geográfica, clima, tamanho corpóreo e densidade populacional das espécies, medidas em grupos taxonômicos e em grandes escalas espaciais (BROWN, 1995). Trabalhos que realizam modelos os quais resultam na predição de áreas de distribuição para determinada espécie, são considerados parte da macroecologia (SOBERÓN et al, 2017).

Nos últimos anos, os métodos chamados de modelagem de nicho ambiental (ENM – “Environmental Niche Modelling”) e modelagem de distribuição de espécies (SDM – “Species Distribution Modelling”) têm recebido maior atenção da comunidade científica, para realizar diversos estudos, como em conservação da biodiversidade (ARAÚJO & PERSON, 2005; DINIZ-FILHO & BINI, 2011; BELLARD et al, 2012; VILLALOBOS et al, 2013), riqueza de espécies (SITES et al, 2003; DINIZ-FILHO et al, 2013; DISTLER et al, 2015) e avaliação do impacto das alterações climáticas sob vetores biológicos de agentes patogênicos (PETERSON & SHAW, 2003; PETERSON et al, 2004; GONÇALVES et al., 2012; COSTA et al, 2014; CAMPBELL et al, 2015; MARQUES et al, 2017; MCINTYRE et al, 2017; LETA et al, 2018, CHAVY et al, 2019). Estes tipos de modelagens procuram informar sobre possíveis locais adequados ambientalmente para a ocorrência de uma espécie, através da identificação de algumas de suas necessidades ambientais.

É uma técnica que pode indicar áreas de real ou potencial distribuição, ou conjuntos de condições favoráveis para uma determinada espécie. Para isso, são utilizadas informações de presenças e ausências observadas (ou pseudoasências) relacionando assim, áreas de distribuição com o nicho ecológico da espécie (SOBERÓN & NAKAMURA, 2009).

Os resultados dos modelos utilizados nas análises macroecológicas possibilitam o conhecimento das limitações geográficas das espécies e área de distribuição delas, as quais são resultantes da sua biologia, ecologia e história evolutiva (BROWN, 1995). Existem fatores que são determinantes para a presença de uma espécie em um determinado espaço geográfico, como os abióticos, que impõem limites biológicos na habilidade de uma espécie em permanecer nesta área; os bióticos, que são o conjunto de interações intra e inter-específicas que modificam a habilidade desta espécie em manter as populações; a acessibilidade das regiões considerando as restrições de dispersão da espécie estudada (importante para distinguir entre a distribuição atual e a distribuição potencial de uma espécie); e a capacidade evolutiva de se adaptar a novas condições ambientais (uma consideração adicional nas possibilidades de distribuição de uma espécie) (SOBERÓN & PETERSON, 2005). Ainda, conforme os autores, a interação deste fatores em escalas diferentes e com forças diferentes é o que influencia na distribuição geográfica das espécies.

Para a modelagem de distribuição potencial e a possível delimitação do espaço geográfico das espécies, é preciso compreender o conceito de nicho ecológico. Por isso, primeiramente é necessário considerar que ENM e SDM não são conceitos sinônimos, pois o primeiro se trata de um “espaço abstrato” e multidimensional, enquanto que o segundo se refere ao espaço geográfico propriamente dito (SOBERÓN et al, 2017). Assim, o termo “nicho” deve ser usado com atenção dentro da área da modelagem, já que esse leva em consideração o conceito de nicho ecológico de Grinnell de 1917, que o definiu como sendo os locais (habitats) onde os requisitos abióticos, necessários à espécie, estão disponíveis para que ela possa viver e se reproduzir (LACERDA, 2013). Este conceito ainda sugere que as macrovariáveis ambientais, como o clima, são determinantes na distribuição espacial das espécies (CORRÊA, 2014). Para Grinnell, o nicho de uma espécie não considera interações bióticas porém, sabe-se que, assim como

barreiras geográficas e capacidade de dispersão, elas são essenciais para definir o nicho de uma espécie (PETERSON, 2001; SOBERÓN & NAKAMURA, 2009).

Passados 40 anos da definição de Grinnell, Hutchinson (1957) determinou que nicho ecológico é um hiper-espaco onde cada dimensão representa o intervalo de condições ambientais ou de recursos necessários para a sobrevivência e reprodução da uma determinada espécie, tais como: densidade populacional, recursos alimentares, predação, nidificação, intensidade luminosa, temperatura, umidade, salinidade e pH (HUTCHINSON, 1957). A partir disso, Hutchinson caracterizou o nicho fundamental como sendo os locais que teoricamente podem ser ocupados pelas espécies sem considerar a influência de interações bióticas e a dispersão, por isso, pode ser utilizado para estimar os limites geográficos potenciais de uma espécie, indicando locais com características exigidas ao desenvolvimento da mesma (SOBERÓN & PETERSON, 2005). Hutchinson (1957) também definiu o nicho realizado, como sendo aquele local que realmente é ocupado pela espécie, dependendo e estando delimitado também pelos fatores bióticos, levando em consideração as interações com outras espécies, como a competição (PETERSON, 2001; SOBERÓN & PETERSON, 2005). Assim, quando comparadas as áreas geográficas estimada pelo nicho fundamental e pelo nicho realizado, pode-se dizer que a primeira é maior que a segunda (LACERDA, 2013).

A partir do conceito de nicho fundamental, Pearson & Dawson (2003) definiram o componente climático do nicho ecológico fundamental, ou o “nicho climático” como sendo o envelope bioclimático. A modelagem que utiliza este envelope combina os dados climáticos com as informações sobre a ocorrência de uma espécie, para obter modelos que descrevam a sua distribuição potencial em uma região. Algoritmos computacionais utilizados na modelagem de nicho buscam relações não aleatórias entre os dados de ocorrência e os dados ambientais, indispensáveis para a sobrevivência da mesma (ANDERSON et al, 2003; SANTANA, 2009). Os resultados gerados são modelos baseados na hipótese de que, se uma espécie foi encontrada sob as condições que definem o seu nicho, então ela pode sobreviver em qualquer lugar que ofereça as mesmas condições (HUTCHINSON, 1957). Porém, como citado anteriormente, deve-se considerar ainda que, conforme o diagrama BAM (PETERSON & SOBERÓN; 2005), é necessário pensar em três itens fundamentais das áreas em que a espécie tem maiores probabilidade de ocorrer : 1) disponibilidade das condições abióticas

necessárias a ela (A – fatores abióticos); 2) existência das condições bióticas favoráveis a ela (B – fatores bióticos) e 3) possibilidade de dispersão e acessibilidade a essas áreas, em todo o planeta (M – movimento da espécie).

A macroecologia é construída sobre fortes fundamentos biológicos, geográficos e evolutivos, por isso, ela oferece importantes teorias sobre a distribuição das espécies em grandes escalas de tempo e espaço (GASTON & BLACKBURN, 2000). Devido ao exposto, ela tem o poder de auxiliar na resolução das questões atuais e futuras sobre as mudanças climáticas globais e como elas impactam as populações, através de modelos de nicho ecológico e de modelos de predição de distribuição de espécies (PETERSON, 2001; PETERSON, 2009, PETERSON et al, 2011).

### **3.2. Mudanças climáticas atuais e futuras: impacto sobre a distribuição e abundância de vetores de patógenos**

Desde a Revolução Industrial, principalmente a partir de 1820, no século XIX, o planeta vem experimentando um aumento excessivo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera terrestre e, isso se deve, em grande parte, à ação humana descontrolada sobre o uso do planeta e seus recursos naturais (IPCC, 2007; IPCC, 2014; KERR, 2007; MARENGO, 2011).

Estudos de possíveis cenários futuros, para 2100, como o RCP 2.6, foram gerados evidenciando pequenas quantidades de emissões de GEE, como, 0Gt de CO<sub>2</sub>, 150 Mt de CH<sub>4</sub>, 8 Mt de N<sub>2</sub>O e 5 Mt de S; enquanto que o cenário RCP 8.5 indica grandes quantidade de emissões de GEE como, 100 Gt de CO<sub>2</sub>, 800 Mt de CH<sub>4</sub>, 24 Mt de N<sub>2</sub>O e 50 Mt de S (IPCC, 2007). A previsão destes índices indicam possíveis variações climáticas para o futuro, interferindo nos espaços ambientais devido as quantidades de GEE geradas e emitidas em todo o mundo, pois estes aumentos influenciam diretamente na atmosfera, nos oceanos, na criosfera e nos níveis do mar.

Conseqüentemente, devido as alterações climáticas, a vida terrestre e aquática encontra-se ameaçada de morte por doenças, ondas de calor, secas e inundações (IPCC, 2014). Estimativas indicam que até a metade do século, cerca de 30% das espécies estarão em risco crescente de extinção (KERR, 2007; IPCC, 2007), e que uma em cada três espécies de parasitos pode se extinguir até 2070 (CARLSON et al, 2017).

Além da grande quantidade de GEE emitidas pela ação antrópica, é necessário considerar que as mudanças climáticas, causadas naturalmente, fazem parte da própria dinâmica evolutiva dos nichos das espécies e que, na verdade, as distribuições são dinâmicas e mudam com o passar do tempo em função dessas flutuações do clima, como por exemplo, as alterações nas distribuições das espécies que responderam às variações climáticas no Pleistoceno, devido aos ciclos glaciais (CRAW et al, 1999, p.30). Porém, em contrapartida, é preciso entender que as mudanças climáticas atuais (e para o futuro próximo) estão ocorrendo muito rapidamente e isso pode promover problemas nos processos de dispersão das espécies (DINIZ-FILHO, 2011, p.157).

Por isso, levando em consideração as rápidas mudanças climáticas, devido à ação antrópica, a utilização de técnicas, como a modelagem de nicho ecológico, que auxilia no entendimento da distribuição geográfica e ambiental das espécies, através da análise da presença e das condições climáticas propícias ao seu desenvolvimento, vêm se ampliando entre os pesquisadores de diversos países (SOUZA-SANTOS & CARVALHO, 2000; GUIBAN et al, 2013). Estes estudos têm demonstrado que o tamanho da distribuição geográfica das espécies estudadas pode ser expandido ou retraído, dependendo do seu nicho, bem como, às respostas individuais de cada uma em relação às novas condições oferecidas a elas (PETERSON et al, 2002).

Segundo o IPCC (2014), alterações locais na temperatura e precipitação têm o poder de alterar a distribuição de algumas doenças transmitidas por vetores biológicos e mecânicos. Do ponto de vista ambiental, as alterações no clima podem implicar em modificações nas reações biológicas, interferindo, por exemplo, no tamanho populacional, riqueza das comunidades, processos de dispersão e interações bióticas (CARLSON et al, 2017). Por isso, estas situações podem influenciar na vetorização, aumentando a quantidade de doenças parasitárias e infecciosas, em humanos e animais, em algumas regiões do mundo (VAZ, 2010).

Preocupados com essa realidade, durante os últimos anos, pesquisadores de todo o mundo intensificaram a realização de trabalhos abordando o impacto das alterações climáticas sobre as populações de vetores de agentes patogênicos. Os estudos buscaram respostas sobre a distribuição de doenças, vetores e patógenos; tanto de importância em saúde pública (NAKAZAWA et al, 2007; PETERSON, 2009, GONZÁLEZ, 2011; DINALISIO, 2011; GURGEL-GONÇALVES et al, 2012;

OLIVEIRA et al, 2013; CARDEÑA et al, 2014; COSTA et al, 2014; ESTRADA-PEÑA et al, 2014; GORTAZAR et al, 2014; PETERSON et al, 2014; CAMPBELL et al, 2015; CECCARELLI et al, 2015; ALKISHE et al, 2017; ENEANYA et al, 2019), quanto de importância em saúde animal (ESTRADA-PEÑA et al, 2006a; ESCOBAR & PETERSON, 2013; OLIVEIRA et al, 2013; GILES et al, 2014; SAMY et al, 2014, DE CLERCQ et al, 2015 MARQUES et al, 2017; CRKVENCIC & SLAPETA, 2019).

A associação entre o clima e o impacto dele sobre as doenças parasitárias, transmitidas por vetores, é verificada não somente pelas mudanças na distribuição e abundância de vetores, mas também, de como as populações de hospedeiros irão responder a tais alterações (CARLSON et al, 2017). Estas mudanças afetam os sistemas biológicos e as interações inter-específicas, o que vai modular e indicar novas áreas de incidência de parasitoses, ou a extinção delas em determinada região geográfica (KOVATS et al, 2001).

Conforme Jenkinson et al (1996), as populações de vetores podem encontrar desafios no processo de dispersão, frente as alterações do clima, pois mesmo elas podendo se expandir para áreas geográficas “recém-adequadas”, e dentro das faixas ambientais apropriadas ao desenvolvimento, estabelecimento e crescimento populacional, as competições inter-específicas, ou outros fatores limitantes, podem vir a ocorrer. É preciso considerar que o tipo de dispersão afeta significativamente o sucesso do estabelecimento do vetor em novas regiões geográficas, como por exemplo, alguns mosquitos são capazes de se dispersar ativamente e se reproduzir relativamente rápido para explorar áreas recém-adequadas, enquanto que carrapatos possuem dispersão ativa limitada, porém, se dispersam comumente de maneira passiva, devido aos seus hospedeiros serem aves e mamíferos (JENKINSON et al, 1996; KOVATS et al, 2001, POUND et al, 2010).

Casos reais sobre como o aquecimento global está afetando as populações de vetores, e as doenças associadas a eles, estão sendo notados pela comunidade geral e relatados pela comunidade científica (LINDGREN et al, 2000, DANIEL et al, 2004). Durante os anos de 1980 a 1990, na América do Norte, houve o aumento acentuado da abundância de carrapatos e da incidência de doenças em humanos, o que foi relacionado ao aumento da abundância dos hospedeiros (cervídeos) do vetor, que foi fortemente influenciada por novas áreas adequadas (vegetação) às populações desses hospedeiros (KOVATS et al, 2001). Já na Europa, durante o mesmo período, moradores relataram maior ocorrência de carrapatos na década de

90, quando comparada aos anos 80, época em que dobrou o número de casos de encefalite humana, que foram positivamente correlacionados as mudanças no clima: verão mais ameno e aumento das temperaturas no inverno, o que alterou as populações de vetores (*Ixodes* sp.) (LINDGREN et al, 2000, DANIEL et al, 2004, GRAY, 2008).

As informações e dados sobre as alterações climáticas da atualidade podem ser encarados como uma oportunidade de realizar experimentos ecológicos em escala global, já que as modificações no clima estão causando respostas nas espécies que podem ser observadas, modeladas e validadas. Isso se torna importante para rever o conhecimento que existe sobre os mecanismos envolvidos na distribuição geográfica e nas abundâncias das espécies (DINIZ-FILHO, 2011, p.151), incluindo aquelas que são vetores, bem como, dos patógenos transmitidos por elas (PETERSON, 2003).

### **3.3. Ecologia e biologia de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus***

*Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1887), popularmente conhecido como “carrapato do boi”, é um importante ectoparasito hematófago de animais de produção, domésticos e silvestres, capaz de transmitir patógenos causadores de doenças (CASTRO, 1997; CAFRONE et al, 1995; DIAS FILHO et al, 2007; POUND et al, 2010). As altas infestações, causadas por este vetor, estão correlacionadas positivamente às perdas econômicas, devido à transmissão de agentes patogênicos, como os protozoários *Babesia bovis*, *B. bigemina*, e a bactéria *Anaplasma marginale*, que são agentes causadores da doença conhecida como “tristeza parasitária bovina”, a qual propicia o emagrecimento dos animais infectados, gerando grandes perdas econômicas, podendo levá-los à morte (KIVARIA, 2006; GRISI et al, 2014; RODRÍGUEZ-VIVAS et al, 2017). Além disso, o carrapato também é responsável pela vetorização de outras espécies de *Anaplasma* e *Ehrlichia* que acometem os rebanhos bovinos (JONES et al, 1972; UILENBERG et al, 1979; MCKOSKER, 1981; MATYSIAK et al, 2016).

Adultos de *R. (B.) microplus* podem sugar de 2 a 3mL de sangue do seu hospedeiro e, após o ingurgitamento uma fêmea aumenta em até 100 vezes o seu próprio peso inicial (GONZALES, 1975). Devido a isso, e à vetorização de patógenos, ocorrem quedas nas produções de leite e carne (SUTHERST et al, 1983) além de causar danos no couro do animal como resultado das reações inflamatórias

nos locais de fixação dos carrapatos (SEIFERT et al, 1968). Ademais, podem haver outros problemas para o hospedeiro, decorrentes das infestações dérmicas causadas pela ação de patógenos causadores de infecções secundárias (GRISI et al, 2002).

Por isso, *R. (B.) microplus* tornou-se o principal alvo de programas de controle e erradicação em países da América do Sul (NARI, 1995). Contudo, o controle das infestações tem sido dificultado devido ao fato do carrapato possuir poucos predadores naturais, fazendo com que os métodos de controle tradicionais se restrinjam ao uso de vários tipos de carrapaticidas químicos que, a cada geração de vetores, aumenta a capacidade de resistência aos mesmos, assim, os estudos ecológicos desta espécie tornam-se cada vez mais importantes e necessários (CRAMER et al, 1988, FARIAS et al, 1995).

Este carrapato pode apresentar entre uma a seis gerações anuais, porém, a maioria dos trabalhos indica o desenvolvimento de três ou quatro gerações anuais, as quais são definidas pelas condições climáticas do local em que se encontram as populações (FARIAS et al, 1995; BRITO et al., 2006; SANCHIS et al, 2008). Apresenta parte de sua vida de forma parasitária, na qual é possível encontrar larvas, ninfas, adultos machos ou/e fêmeas sobre o hospedeiro. A alimentação em todos esses estágios, bem como as mudas dos imaturos, ocorrem durante essa fase ectoparasitária. Após o acasalamento, ainda sobre o hospedeiro, a fêmea ingurgitada cai ao solo, onde deposita seus ovos (WHARTON et al, 1970; BRITO et al, 2006).

A outra parte da vida do vetor é livre, no ambiente, onde podem ser encontrados os ovos e larvas infectantes, que representam 95% da população total local; sendo que a sobrevivência nesta fase é dependente das condições abióticas, principalmente de temperatura e umidade (BENNET, 1974; GONZALES, 1974; FARIAS et al, 1995; SANCHIS et al, 2008). Em laboratório, o período de pré oviposição varia entre 19 e 39 dias, com temperatura de 16oC e, diminui para 2 ou 3 dias quando a temperatura é de 36oC, sendo a maior oviposição (~2.500 ovos) observada a 24oC, diminuindo em temperaturas mais baixas e altas (HITCHCOCK, 1955). Este padrão de pré oviposição, impactada pela baixa temperatura, também foi observado a campo (FARIAS, 1995). O período de desenvolvimento dos ovos pode variar entre 14 e 146 dias, submetidos a temperaturas de 36 e 17oC, respectivamente; porém, quando submetidos a umidades relativas menores de 70%,

os ovos não chegam ao desenvolvimento final, não havendo eclosão dos mesmos (HITCHCOCK, 1955; BENNET, 1974). Nesta fase de vida, a temperatura mínima é um fator determinante para o sucesso da prole, controlando a taxa de eclosão dos ovos (HITCHCOCK, 1955; BENNET; 1974, FARIAS et al, 1995), contudo, nos locais de ocorrência da espécie onde o inverno alcança temperaturas em torno de 0°C, a temperatura mínima não impede eclosão de todos os ovos (SOUZA et al, 1988).

Além disso, os fatores climáticos influenciam na longevidade das larvas infectantes, as quais podem sobreviver até 240 dias à temperatura de 23 oC e 90% de umidade (HITCHCOCK, 1955). Isso ocorre devido à capacidade delas em reestabelecer o balanço hídrico, após passarem por período em ambiente com baixa umidade, através de absorção, conseguem reter água, quando o ambiente disponibiliza maior quantidade da mesma (HITCHCOCK, 1955; SANCHIS et al, 2008). Diferentemente dos ovos, as larvas são mais vulneráveis às baixas temperaturas: por exemplo, a 70% de umidade e 15oC elas sobrevivem por ~90 dias e, quando submetidas a temperaturas negativas, como -6oC, 90% das larvas morrem em 48 horas, enquanto que as fêmeas (no campo), durante o período de pré oviposição, podem permanecer por mais de oito dias sob essa temperatura e sobreviver. O mesmo ocorre com a viabilidade dos ovos, que podem permanecer por 16 dias sob -6oC e não ter seu desenvolvimento afetado por esse fator (HITCHCOCK, 1955).

O estabelecimento e a sobrevivência das populações de *R. (B.) microplus* em determinados locais, bem como, a restrição de suas distribuições geográficas, são dependentes de alguns fatores, como da disponibilidade de hospedeiros, competição com outras espécies de carrapatos e condições climáticas; principalmente temperatura e umidade (HITCHCOCK, 1955; BENNET; 1974, FARIAS et al, 1995; ESTRADA-PEÑA et al, 2006a; SÜSS et al, 2008; POUND et al, 2010; CHEVILLON et al, 2013). Para que seja possível entender a distribuição geográfica e o tamanho das populações desse carrapato, é indispensável o conhecimento sobre sua biologia e ecologia, já que o clima impacta e influencia a fase de vida livre desta espécie (FARIAS et al, 1995; HITCHCOCK, 1955).

#### **3.4. Modelos de distribuição e abundância de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus***

Devido à importância econômica de *Rhipicephalus (B.) microplus* (GRISI et al, 2014), pesquisas sobre biologia, ecologia, controle, manejo e erradicação desse vetor tornaram-se numerosas (HITCHCOCK, 1955; BENNET, 1974; FARIAS et al, 1995; NARI, 1995; GUGLIELMONE et al, 2003; LYNEN et al, 2008; POUND et al, 2010), permitindo o surgimento de estudos com modelagens, que utilizam dados laboratoriais e de campo, para prever as consequências das estratégias de manejo e, através desses resultados, gerar novas hipóteses a serem testadas, laboratorialmente ou através de outros modelos (WANG et al, 2017).

Um dos primeiros modelos gerados para *R. (B.) microplus* foi desenvolvido por Sutherst (1987a) para a África e, envolvia competição interespecífica com outra espécie de carrapato. Posteriormente, o mesmo autor utilizou a técnica de envelope bioclimático para prever a distribuição do vetor na África do Sul (SUTHERST, 1987b). Conforme Wang et al (2017), um modelo de simulação de casos de babesiose para inferir sobre a população de *R. (B.) microplus* foi desenvolvido por Smith et al (1984), enquanto que pesquisadores cubanos desenvolviam modelos populacionais baseados em dados de grau-dia, incubação e pré-incubação, (DE LA VEGA & DÍAZ, 1985a; b; c; 1986), além de um modelo para prever a longevidade larval do carrapato (DE LA VEGA & DÍAZ, 1987). No Brasil, pesquisadores da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) criaram modelos de distribuição e de abundância de *R. (B.) microplus* para o país (SAUERESSIG & HONER, 1993; SAUERESSIG & HONER, 1995). Na mesma época, também foi criado um modelo para tentar auxiliar na erradicação do carrapato em Porto Rico (POPHAM & GARRIS, 1991) e outro com foco nas influências diárias de habitats em populações do carrapato nos EUA (TEEL et al, 1996).

Após isso, houve uma ascensão dos modelos criados a partir das condições climáticas (Wang et al, 2017), projetados para várias partes do mundo: África (Cumming, 2000; Cumming, 2002; Sutherst & Bourne, 2009; De Clercq et al, 2013; De Clercq et al, 2015); Tanzânia (Lynen et al, 2008); Américas (Estrada-Peña et al, 2005); América Central (Estrada-Peña, 2001); EUA (Estrada-Peña & Venzal, 2006; Giles et al, 2014; Phillips et al, 2014); México (Estrada-Peña et al, 2006b; Estrada-Peña & Venzal, 2006); Colômbia (Pulido-Herrera et al, 2015); Brasil (Rio de Janeiro) (Fonseca et al, 2005) e Argentina (Guglielmone et al, 2003; Estrada-Peña, 2006b).

Até 2017, foram contabilizadas 76 publicações que resultaram em 79 modelos de abundância populacional e, 26 publicações de modelos de distribuição para *R.*

(*B. microplus*) (Wang et al, 2017). Conforme esses autores, a modelagem segue sendo utilizada em pesquisas, com a finalidade de responder questões ecológicas e de problemas de manejo, através de modelos populacionais e de distribuição geográfica. A tendência para a sequência da produção dos modelos, é avaliar os efeitos das mudanças climáticas e a emergência ou expansão de doenças transmitidas por esse vetor, devido à influência do clima sobre os processos ecológicos e biológicos que afetam a transmissão de patógenos transmitidos pelo carrapato (REISEN, 2010, TABACHNICK, 2010).

#### **4. Artigo 1**

Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

O manuscrito a seguir atende às normas da revista científica:  
*Veterinary Research*

**Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*.**

Roberta Marques

Laboratório de Ecologia de Parasitos e Vetores, Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Brazil. Email: roberta.marques@ufpel.edu.br

Rodrigo F. Krüger

Laboratório de Ecologia de Parasitos e Vetores, Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Brazil. Email: rfkruger@gmail.com

A. Townsend Peterson

Biodiversity Institute, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA. Email: town@ku.edu

Larissa F. de Melo

Laboratório de Ecologia de Parasitos e Vetores, Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Brazil. Email: larissafalk@hotmail.com

Natália Vicenzi

Laboratório de Ecologia de Parasitos e Vetores, Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Brazil. Email: natalia\_vcn@hotmail.com

Daniel Jiménez-García

Centro de Agroecología y Ambiente, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla, Puebla, Mexico. Email: daniel.jimenez@correo.buap.mx

\*Corresponding author: Roberta Marques. Email: roberta.marques@ufpel.edu.br

## **Abstract**

Climate change ranks among the most important issues globally, affecting geographic distributions of vectors and pathogens, and inducing losses in livestock production. We characterized the potential geographic distribution of an important vector of babesiosis and anaplasmosis globally *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. We evaluated potential geographic shifts in suitability patterns for this species in two time frames and under two emissions scenarios (RCPs 4.5 and 8.5). Our results anticipated increases in suitability worldwide, particularly in highest production areas for cattle. The Indo-Malayan region resulted as the most vulnerable under both climate change projections (2050), with increases of suitability of >30%. This study illustrates how ecological niche modeling can be used to explore probable effects of climate change on vectors, and possible consequences in economic dimensions.

**Keywords:** Bovine parasitic disease, Cattle, Vulnerability, Ecological niche modelling, Parasite, Vector.

## **Introduction**

*Rhipicephalus (Boophilus) microplus* is the most important tick in transmission of bovine parasitic diseases around the world [1]. The principal hosts for this species are cattle, but interactions have been documented with buffalo, horses, donkeys, dogs, deer, sheep, and goats [2–5]. High incidence of this tick is associated with economic losses, particularly in cattle [6]. This tick is responsible for transmission of the protozoa *Babesia bovis* and *B. bigemina*, and the bacterium *Anaplasma marginale*, which are the main pathogens of bovine babesiosis and anaplasmosis,

respectively [7–9]. These diseases induce extreme emaciation in livestock, culminating in death.

Losses of US\$13-18 billion are caused by these pathogens globally each year [10, 11]. World developing countries have the strongest consequences caused by *R. microplus* (e.g. South America; [6, 12]). Such countries generally lack effective control mechanisms for the tick, such that economic losses are exacerbated and livestock production is reduced markedly [13]. Estimates regarding milk losses caused by this tick species are at 90.2 liters per cow yearly; this reduction and losses in another milk products generate additional production drops of around US\$922 million yearly [14]. Cattle at high risk regarding this tick are valued at US\$3 billion annually in Brazil alone [6], one of the most important developing countries in terms of livestock, responsible for exporting around 43040810 tonnes of milk, whole fresh cow and meat cattle [15].

Population growth and establishment are related (1) to historical contingencies and geographic barriers [16]; (2) to biological factors such as host availability, competition; and (3) to environmental conditions such as temperature and humidity [17–20]. Climate change represents an important issue globally [21], with unknown consequences for species conservation [22], agriculture [23], and domestic animal production [24, 25]. Future changes in climate include modifications to temperature and precipitation regimes; these environmental factors are crucial in delimiting species distributions and determining success of population establishment [26]. Changes in these factors may modify the life cycle, abundance, and distribution for *R. microplus* [27, 28], and in another vectors or species with importance in human and animal health [25, 29–31]. Small changes at local levels can increase risk of pathogen transmission [32]. Climate change generates a series of biological

modifications in vector biology and consequently in pathogen incidence, which may lead to shifts in disease distributions [33].

Ecological niche models (ENM) are used commonly for understanding species' potential geographic distributions under different scenarios [34–36], under Grinnell's niche concept, focused on environmental factors crucial in delimiting species' distributions [37]. The hypothesis of environmental factors being crucial in determining distributions of vectors and pathogens is supported amply by empirical studies [25, 29, 30, 38–41]. However, many ENM based studies of disease related arthropods have not used environmental variables related directly to the physiology of these species. In this paper, we assess possible potential areas for *R. microplus* under present-day and future conditions under two greenhouse gas emissions scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) for two time periods (2050 and 2070), including a physiological variable known to be crucial for this species. We evaluate potential hotspots for this species coincident with livestock concentrations to determine the most important risk areas under climate change for bovine parasitic diseases transmitted by this tick species.

## **Materials and Methods**

### Occurrence data

Occurrences were obtained from two different sources: (1) published data based on searches of different databases (Web of Science, Scopus, and Google Scholar); we used the keywords "*Rhipicephalus*," "*Rhipicephalus microplus*," "*Boophilus microplus*," and "*Rhipicephalus (B.) microplus*". We also obtained (2) data available in biodiversity information platforms: Global Biodiversity Information Facility

(GBIF; <https://www.gbif.org/>), SpeciesLink (<http://splink.cria.org.br/>), and VectorMap (<http://vectormap.si.edu/>).

Data were collected for the period 1970-2018. Data lacking georeferencing (obtained mainly from published papers) were assigned coordinates via searches in Google Earth. We reduced biasing effects of spatial autocorrelation in occurrence data using a distance filter of 22 km in the spThin R package [42]. We chose a random 50% of the occurrence data for calibrating models, and used the remaining 50% to evaluate the models. Our initial 1487 occurrences for *R. microplus* in America reduced to 531 with spatial filtering (Figure 1). We also considered occurrence data for this species from Africa [43, 44]; these 145 African occurrences were used as independent evaluation data, with the same spatial filter, for an additional model evaluation.

#### Environmental data

We used 15 bioclimatic variables from WorldClim version 1.4 (Table 1) [45], excluding four variables known to include spatial artefacts [46]. These variables were derived from climatic data from the period 1950-2000; we also used relative humidity (RH) from the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5 [https://www.ipcc-data.org/sim/gcm\\_monthly/AR5/Reference-Archive.html?fbclid=IwAR3dUOeFLxFTtHX13VDC-G-HHh5ZhHrt7FvW4hU1PWBwtiuD4B2IW2DwOuU](https://www.ipcc-data.org/sim/gcm_monthly/AR5/Reference-Archive.html?fbclid=IwAR3dUOeFLxFTtHX13VDC-G-HHh5ZhHrt7FvW4hU1PWBwtiuD4B2IW2DwOuU); [47]), which we downscaled by [48]. To summarize future conditions, we used outputs from 20 general circulation models (GCMs) available from Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS; [http://www.ccafs-climate.org/data\\_spatial\\_downscaling/](http://www.ccafs-climate.org/data_spatial_downscaling/)) (Additional file 1). We used two greenhouse gas emissions scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) for two time periods (2050 and 2070) to explore model – to – model variation. The environmental

data were used at a spatial resolution of 0.2° (~22 km) under both present-day and future conditions. Dimensionality was reduced using Pearson correlations over the entire calibration area, removing one from each pair of variables with correlations  $\geq 0.80$ . Uncorrelated variables were grouped in different variable sets: we used all possible variable combinations (120 sets) for model calibration and evaluation [49]. Variables used in models included annual mean temperature, temperature seasonality, minimum temperature of the coldest month, annual precipitation, precipitation of driest month, precipitation seasonality, and relative humidity.

#### Model calibration and evaluation

Models were calibrated with the `kuenm` R package, running [50] Maxent 3.4.1 [51] and using model selection approaches [52]. We used significance, performance (omission rate), and model complexity to choose optimal parameter settings for selecting the best model. All potential combinations of linear (l), quadratic (q), product (p), threshold (t), and hinge (h) feature types were tested, as were different regularization multiplier values (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 3, 5, 7, and 10). Significance testing was via partial ROC [53], with acceptable omission error of  $E = 0.05$ . Omission rates were determined using a threshold of 5 %; we use a random selection of 50% of the occurrence data (Figure 1) to evaluate the model performance. Finally, we evaluated model complexity using the Akaike information criterion with correction for small sample size (AICc), via code derived from [52].

We use the accessible area concept as a means of choosing the area over which to calibrate our models [16, 54], using a buffer of 200 km around occurrence data as a proxy to this area (Figure 1). Final models were summarized as the median of 10 bootstrap replicates of the selected best model parameter set, and transferred

to future conditions worldwide. We used the kuenm package [50] both to evaluate final models and to project to future conditions. Model transfers were evaluated for extrapolative conditions with a MOP analysis [55], comparing conditions between calibration and projection areas across the 20 GCM x 2 RCPs x 2 time periods that made up our future scenarios.

Model transfers were summarized via a binarization process. Median model transfers were binarized using an acceptable omission rate of  $E = 0.05$ . Binary maps were used to determine climate uncertainty in the models, using agreement among multiple scenarios between present and future to determine areas of stability. We used a threshold of  $\geq 60\%$  (12) of GCMs as a relatively clear signal. Finally, to provide an additional model evaluation, we used occurrence data from the African range as an evaluation of the model's predictive ability. We obtained cattle abundance data from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) [56] and Robinson et al. [57] to evaluate implications of future changes in range of the tick for cattle production. We used different categories (cattle abundances: Additional File 2) to evaluate the possible impact of the tick inside of these categories under future projections. We evaluate the highest potential range expansion of the tick in the different world cattle production areas.

## **Results**

We evaluated 5400 candidate models; 3687 of these models were statistically significant ( $P < 0.05$ ), of which 1348 showed good performance (i.e., omission error  $\leq 0.05$ ); however, a single model was selected on the basis low complexity (AICc = 10398.67), in that the difference in AICc between it and the next best model was large (26.4786). The best model included all feature types (lqpth) and with a regularization parameter of 1. Variables selected were annual mean temperature,

temperature seasonality, annual precipitation, precipitation of driest month, and relative humidity (Table 1). The biggest relative contribution of environmental variables to the model was from annual mean temperature (26.6%), whereas the smallest contribution was from annual precipitation (14.6%; Table 1). Our independent evaluation (i.e., predicting the African distribution) was significantly different from random predictions according to the pROC evaluation ( $P < 0.001$ ). Omission rate was 7.5%, with 11 failures out of 145 evaluation points.

In the Americas, the present-day model showed high suitability for *R. microplus* in North and South America: in Brazil (central, western, southern), Uruguay (northern), Argentina (northern, eastern), and across Central America, Mexico, and the southern USA (Figure 2). Models also showed high suitability across much of sub-Saharan Africa, except for the interior of South Africa and Botswana. Western Europe, Southeast Asia, and coastal parts of Australian also had high suitability (Figure 2).

Model transfers to future conditions (Figures 3 and 4, Additional Files 3 and 4) showed high stability and likely persistence in currently suitable regions, and increases of suitability in the Neotropics (Argentina, Brazil, Colombia, Venezuela), Palearctic (northern and eastern Europe, Indo-Malayan Region (India, Bhutan, Nepal, Myanmar, China), Nearctic (Mexico, southeastern USA), and Afrotropics (West Africa, Sudan, South Sudan, Chad). Under a moderate climate change scenario (RCP 4.5), for 2050 and 2070, we noted increases in suitability with low uncertainty (Additional files 3 and 4); some areas of South America (Amazonas state in Brazil), showed increased suitability. Under the high-emissions scenario (RCP 8.5), in 2050, increases in suitability were in the Nearctic, Neotropics, Palearctic,

Afrotropics, and the Indo-Malayan region (Figure 3, Additional file 3). By 2070 (Figure 4, Additional file 4), increases in suitability were in much the same regions.

Our models showed high suitability in the present-day, and increases in suitability in the future, in places with highest abundances of cattle around the world (Tables 2 and 3, and Additional file 2). Low cattle abundances (0 to 1 individuals / 10 km<sup>2</sup>) were the areas most likely to see increases in suitability for the tick, with a possible increase of ~21% in the world for this category (Tables 2 and 3); the Palearctic, Neotropical, and Indo-Malayan regions were those most likely to see increases in suitability. Highest cattle abundances (>100 individuals/10 km<sup>2</sup>) in the Indo-Malayan region were projected to see suitability increases of ~34% in 2050 and ~16% in 2070 under both RCPs (Tables 2 and 3). All study regions showed increases in suitability (~1% to ~134%); major changes were noted in the Nearctic Region (Tables 2 and 3).

## Discussion

Babesiosis and anaplasmosis may be related to the same environmental factors as *R. microplus* because they depend on this tick as the main vector of the pathogens of these diseases [7–9]. Different wild animals serve as hosts for this tick; the best-studied is *Odocoileus virginianus* [4], other livestock reservoirs of these pathogens include goats [5]. Host species are important for dispersal, although this tick is not a specialized ectoparasite; this generalist habit makes easier dispersal by wild and production animals [7–9].

The potential distribution of *R. microplus* is related to a diverse suite of ecological and environmental factors around the world [1, 18, 24, 27, 28, 58–62]. Complex relationships with other species, especially wild hosts, are particularly

relevant for individual dispersal and population occurrence in suitable environments [4]. Climate factors change the tick life cycle and geographic distribution [63, 64]. The most important factors in model construction were annual mean temperature, precipitation seasonality, and other variables derived from humidity [18].

Climate seasonality is an important factor in the *R. microplus* life cycle; variations in this factor influence the number of generations (three to four per year), increasing the size and potentially their dispersal [63, 64]. We found important environmental variables similar to those identified in analysis of this species [18]. Annual mean temperature, seasonality in precipitation, and other variables derived from humidity were crucial to these models [18]; however, no previous study has works used relative humidity for model construction, which is a fundamental variable for of this species development [65, 66].

Currently *R. microplus* does not occur in some regions and this can be explained by some possibilities, for example: 1) There are some trophic activities or other biological interactions which reduce the possibility of occurrence in Europe, Australia and some points of North Asia. 2) There are some historical conditions (isolation) decreasing the accessibility of this species to Europe, Australia and North Asia. In addition in order for the species to be introduced into these areas, it is important to consider the number of colonization stages required to produce permanent populations, host density to support tick populations, and the immune response of these hosts[18].

Economic losses in cattle are generated by tick infestations in cattle herds around the world. Countries with high cattle populations have important losses in meat production (e.g., Brazil with US\$3.4 billion per year; [6], Tanzania with US\$364 million per year; [67], and Mexico with US\$573 million per year; [68]). Thirty-eight

percent of the world's cattle population is located in India; babesiosis is a common disease there, driving important economic losses [69]; indeed, ~4% of cattle in north eastern of the country died from this disease [70]. Our results showed increases in suitability for the tick, particularly in northern India, potentially increasing losses under future climates (Tables 2 and 3, Figures 2-4, Additional files 3 and 4). The Indo-Malayan and Australian regions include several countries with high vulnerability: increases in tick suitability (Additional files 3 and 4) and high abundances of cattle (Tables 2 and 3, Additional file 2). Increases in suitability for the tick in West Africa (Côte d'Ivoire, Benin), increasing vulnerability to babesiosis and anaplasmosis [39]. Imported Brazilian cattle in these countries find environmental conditions optimal for tick establishment; independent models generated by De Clercq et al. [39] have confirmed this assumption.

Changes in the potential distribution of this tick in relation to climate change have been documented previously [18, 24, 27]. However, our work uses an uncertainty evaluation covering 20 GCMs, 2 greenhouse gas emission scenarios, and two time periods (Additional files 3 and 4): we also used independent data for model testing, and incorporated data on relative humidity. Our model is strongly consistent and accurate (Additional files 3-5), but has two strong limitations. (1) We do not include in the model biotic factors (interactions), especially because this species requires a host, and we do not have any logical means of assessing all the different possible hosts in the world. (2) We do not consider relationships between numbers of ticks and of cattle in different regions of the world. However, our models are a view of suitability under future conditions, and vulnerability for different cattle populations in the study regions, showing future potential increases of this invasive species around the world.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## Authors' contributions

RM, RFK and DJG conceived of the project ideas and planned the study. LFM and NV collected data. RM and DJG conducted research and data analysis. RFK, RM, ATP and DJG composed the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

## Acknowledgements

We thank members of the Peterson and Soberón labs at the University of Kansas for myriad assists with different dimensions of the data analysis for this study. Daniel Jiménez-García was funded by the Fulbright Visiting Scholar Program - Senior Scholar.

We thank the financial support of the the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CAPES) in the first author's Ph.D Sandwich (process: 47/2017).

## References

1. Estrada-Peña A, Bouattour A, Camicas J-L, Guglielmone A, Horak I, Jongejan F, Latif A, Pegram R, Walker AR (2006) The known distribution and ecological preferences of the tick subgenus *Boophilus* (Acari: Ixodidae) in Africa and Latin America. *Exp Appl Acarol* 38:219–235 . <https://doi.org/10.1007/s10493-006-0003-5>
2. Spickler AR (2007) *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* . [http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/boophilus\\_microplus.pdf](http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/boophilus_microplus.pdf). Accessed 10 Sep 2019
3. Brito DRB, Santos ACG (2005) Ectoparasitos em rebanhos de caprinos e ovinos na microrregião do Alto Mearim e Grajau, Estado do Maranhão. *Brazil J Vet Parasitol* 14:59–63

4. Pound JM, George JE, Kammlah DM, Lohmeyer KH, Davey RB (2010) Evidence for role of white-tailed deer (*Artiodactyla: Cervidae*) in epizootiology of cattle ticks and southern cattle ticks (*Acari: Ixodidae*) in reinfestations along the Texas/Mexico border in South Texas: a review and update. *J Econ Entomol* 103:211–218 . <https://doi.org/10.1603/EC09359>
5. Silva NB da, Taus NS, Johnson WC, Mira A, Schnittger L, Valente JDM, Vidotto O, Masterson HE, Vieira TSWJ, Ueti MW, Vieira RFC (2018) First report of *Anaplasma marginale* infection in goats, Brazil. *PLoS ONE* 13:e0202140 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202140>
6. Grisi L, Leite RC, Martins JR de S, Barros ATM de, Andreotti R, Cançado PHD, León AAP de, Pereira JB, Villela HS (2014) Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Rev Bras Parasitol Vet* 23:150–156 . <https://doi.org/10.1590/S1984-29612014042>
7. Cafrune MM, Aguirre DH, Mangold AJ, Guglielmone AA (1995) Experimental studies of the rate of infection of *Boophilus microplus* eggs with *Babesia bovis*. *Res Vet Sci* 58:284–285 . [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(95\)90119-1](https://doi.org/10.1016/0034-5288(95)90119-1)
8. Dias Filho FDC, Coelho Linhares GF, Duarte SC, Lima Linhares DC (2007) Obtenção de isolados puros de *Babesia bovis* e *Babesia bigemina* a partir de larvas e ninfas de *Boophilus microplus* em bezerros neonatos privados de colostro. *Rev Patol Trop* 34:197–204 . <https://doi.org/10.5216/rpt.v34i3.1926>
9. Futse JE, Ueti MW, Knowles DP, Palmer GH (2003) Transmission of *Anaplasma marginale* by *Boophilus microplus*: retention of vector competence in the absence of vector-pathogen interaction. *J Clin Microbiol* 41:3829–3834
10. de Castro JJ (1997) Sustainable tick and tickborne disease control in livestock improvement in developing countries. *Vet Parasitol* 71:77–97 . [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00033-2)
11. EMBRAPA (2013) Saúde animal e impacto econômico são destaques no Simpósio Internacional sobre Controle de Carrapatos. <https://www.embrapa.br/gado-de-corte/busca-de-noticias/-/noticia/1489479/saude-animal-e-impacto-economico-sao-destaques-no-simposio-internacional-sobre-controle-de-carrapatos>. Accessed 2 Sep 2019
12. Nari A (1995) Strategies for the control of one-host ticks and relationship with tick-borne diseases in South America. *Vet Parasitol* 57:153–165 . [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(94\)03117-F](https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)03117-F)
13. Perry B, Grace D (2009) The impacts of livestock diseases and their control on growth and development processes that are pro-poor. *Phil Trans R Soc B* 364:2643–2655 . <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0097>
14. Rodrigues DS, Leite RC (2013) Economic impact of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: estimate of decreased milk production on a dairy farm. *Arq Bras Med Vet Zootec* 65:1570–1572 . <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000500039>
15. FAOSTAT. [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities\\_by\\_country](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country). Accessed 30 Oct 2019
16. Barve N, Barve V, Jiménez-Valverde A, Lira-Noriega A, Maher SP, Peterson AT, Soberón J, Villalobos F (2011) The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecol Model* 222:1810–1819 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011>
17. Chevillon C, de Garine-Wichatitsky M, Barré N, Ducornez S, de Meeûs T (2013) Understanding the genetic, demographical and/or ecological processes at play in invasions: lessons from the southern cattle tick *Rhipicephalus microplus* (*Acari: Ixodidae*). *Exp Appl Acarol* 59:203–218 . <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9602-5>

18. Estrada-Peña A, Acedo CS, Quílez J, Cacho E (2005) A retrospective study of climatic suitability for the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in the Americas: climate and habitat for the cattle tick in the Americas. *Global Ecol Biogeogr* 14:565–573 . <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00185.x>
19. Parola P, Raoult D (2001) Ticks and tickborne bacterial diseases in humans: an emerging infectious threat. *Clin Infect Dis* 32:897–928 . <https://doi.org/10.1086/319347>
20. Süss J, Klaus C, Gerstengarbe F, Werner PC (2008) What makes ticks tick? climate change, ticks, and tick-borne diseases. *J Travel Med* 15:39–45 . <https://doi.org/10.1111/j.1708-8305.2007.00176.x>
21. Smith JB, Schneider SH, Oppenheimer M, Yohe GW, Hare W, Mastrandrea MD, Patwardhan A, Burton I, Corfee-Morlot J, Magadza CHD, Fussel H-M, Pitttock AB, Rahman A, Suarez A, van Ypersele J-P (2009) Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) “reasons for concern.” *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:4133–4137 . <https://doi.org/10.1073/pnas.0812355106>
22. Nakao K, Higa M, Tsuyama I, Matsui T, Horikawa M, Tanaka N (2013) Spatial conservation planning under climate change: using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan. *J Nat Conserv* 21:406–413 . <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2013.06.003>
23. Ramírez-Gil JG, Cobos ME, Jiménez-García D, Morales-Osorio JG, Peterson AT (2019) Current and potential future distributions of Hass avocados in the face of climate change across the Americas. *Crop Pasture Sci* 70:694–708 . <https://doi.org/10.1071/CP19094>
24. Estrada-Peña A, Estrada-Peña A (2001) Climate warming and changes in habitat suitability for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in Central America. *J Parasitol* 87:978–987 . <https://doi.org/10.2307/3285219>
25. Marques R, Alves DMCC, Vicenzi N, Krolow TK, Krüger RF (2017) O aquecimento global irá alterar a distribuição geográfica de *Lepiselaga crassipes* (Diptera: Tabanidae), vetor de tripanossomíases em equinos, na Região Neotropical? *Oecol Austr* 21:27–41 . <https://doi.org/10.4257/oeco.2017.2101.03>
26. Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Araújo MB (2011) *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, Oxford
27. Estrada-Peña A, Corson M, Venzal JM, Mangold AJ, Guglielmone A (2006) Changes in climate and habitat suitability for the cattle tick *Boophilus microplus* in its southern Neotropical distribution range. *J Vector Ecol* 31:158–167 . [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2006\)31\[158:CICAHS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2006)31[158:CICAHS]2.0.CO;2)
28. Lynen G, Zeman P, Bakuname C, Di Giulio G, Mtui P, Sanka P, Jongejan F (2008) Shifts in the distributional ranges of *Boophilus* ticks in Tanzania: evidence that a parapatric boundary between *Boophilus microplus* and *B. decoloratus* follows climate gradients. *Exp Appl Acarol* 44:147–164 . <https://doi.org/10.1007/s10493-008-9134-1>
29. McIntyre KM, Setzkorn C, Hepworth PJ, Morand S, Morse AP, Baylis M (2017) Systematic assessment of the climate sensitivity of important human and domestic animals pathogens in Europe. *Sci Rep* 7:7134 . <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06948-9>
30. Peterson AT, Lash RR, Carroll DS, Johnson KM (2006) Geographic potential for outbreaks of Marburg hemorrhagic fever. *Am J Trop Med Hyg* 75:9–15 . <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2006.75.1.0750009>

31. Peterson AT (2009) Shifting suitability for malaria vectors across Africa with warming climates. *BMC Infect Dis* 9:59 . <https://doi.org/10.1186/1471-2334-9-59>
32. McMichael AJ, Campbell-Lendrum D H, Corvalán, C F, Ebi, K L, Githeko, A K, Scheraga, J D, Woodward, A (2003) *Climate change and human health: risks and responses*. World Health Organization, Geneva
33. Vaz D dos S (2010) Breves considerações sobre alterações climáticas, riscos ambientais e problemas de saúde. *Hygeia* 6:60–66
34. Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick JR, Lehmann A, Li J, Lohmann LG, Loiselle BA, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton JMM, Peterson AT, Phillips SJ, Richardson K, Scachetti-Pereira R, Schapire RE, Soberón J, Williams S, Wisz MS, Zimmermann NE (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129–151
35. Peterson AT (2001) Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor* 103:599–605
36. Thuiller W, Richardson DM, Pysek P, Midgley GF, Hughes GO, Rouget M (2005) Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Global Change Biol* 11:2234–2250 . <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001018.x>
37. Grinnell J (1917) The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk* 34:427–433 . <https://doi.org/10.2307/4072271>
38. Carvalho BM, Rangel EF, Ready PD, Vale MM (2015) Ecological niche modelling predicts southward expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* in South America, under climate change. *PLoS ONE* 10: . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143282>
39. De Clercq EM, Estrada-Peña A, Adehan S, Madder M, Vanwambeke SO (2013) An update on distribution models for *Rhipicephalus microplus* in West Africa. *Geospat Health* 8:301–308 . <https://doi.org/10.4081/gh.2013.75>
40. Leta S, Beyene TJ, De Clercq EM, Amenu K, Kraemer MUG, Revie CW (2018) Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Int J Infect Dis* 67:25–35 . <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2017.11.026>
41. Perkins TA, Siraj AS, Ruktanonchai CW, Kraemer MUG, Tatem AJ (2016) Model-based projections of Zika virus infections in childbearing women in the Americas. *Nat Microbiol* 1:16126 . <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.126>
42. Aiello-Lammens ME, Boria RA, Radosavljevic A, Vilela B, Anderson RP (2015) spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* 38:541–545 . <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
43. Burger TD, Shao R, Barker SC (2014) Phylogenetic analysis of mitochondrial genome sequences indicates that the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, contains a cryptic species. *Mol Phylogenet Evol* 76:241–253 . <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.03.017>
44. Labruna MB, Naranjo V, Mangold AJ, Thompson C, Estrada-Peña A, Guglielmone AA, Jongejan F, de la Fuente J (2009) Allopatric speciation in ticks: genetic and reproductive divergence between geographic strains of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *BMC Evol Biol* 9:46 . <https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-46>

45. Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* 25:1965–1978 . <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
46. Escobar LE, Lira-Noriega A, Medina-Vogel G, Peterson AT (2014) Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health* 9:221–229 . <https://doi.org/10.4081/gh.2014.19>
47. Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl GA (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. In: *Bulletin of the American Meteorological Society*. <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>. Accessed 2 Sep 2019
48. Ramirez-Villegas J, Jarvis A (2010) Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1
49. Cobos ME, Peterson AT, Osorio-Olvera L, Jiménez-García D (2019) An exhaustive analysis of heuristic methods for variable selection in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecol Inform* 53:100983 . <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.100983>
50. Cobos ME, Peterson AT, Barve N, Osorio-Olvera L (2019) kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ* 7:e6281 . <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
51. Phillips JS, Anderson R, Dudík M, Schapire RE, Blair M (2017) Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40:887–893 . <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
52. Warren DL, Seifert SN (2011) Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecol Appl* 21:335–342 . <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>
53. Peterson AT, Papeş M, Soberón J (2008) Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecol Model* 213:63–72 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
54. Anderson RP, Raza A (2010) The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela. *J Biogeogr* 37:1378–1393 . <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02290.x>
55. Owens HL, Campbell LP, Dornak LL, Saupe EE, Barve N, Soberón J, Ingenloff K, Lira-Noriega A, Hensz CM, Myers CE, Peterson AT (2013) Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecol Model* 263:10–18 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.04.011>
56. FAO (2014) Food and Agriculture Organization of the United Nations. In: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/home/en/>. Accessed 2 Sep 2019
57. Robinson TP, Wint GRW, Conchedda G, Van Boeckel TP, Ercoli V, Palamara E, Cinardi G, D’Aielli L, Hay SI, Gilbert M (2014) Mapping the global distribution of livestock. *PLoS ONE* 9:e96084 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096084>
58. Sutherst RW, Bourne AS (2009) Modelling non-equilibrium distributions of invasive species: a tale of two modelling paradigms. *Biol Invasions* 11:1231–1237 . <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9335-x>

59. Giles JR, Peterson A, Busch JD, Olafson PU, Scoles GA, Davey RB, Pound J, Kammlah DM, Lohmeyer KH, Wagner DM (2014) Invasive potential of cattle fever ticks in the southern United States. *Parasit Vectors* 7:189 . <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-189>
60. Estrada-Peña A (1999) Geostatistics and remote sensing using NOAA-AVHRR satellite imagery as predictive tools in tick distribution and habitat suitability estimations for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in South America. *Vet Parasitol* 81:73–82 . [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00238-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00238-6)
61. Guglielmone AA, Giorgi R, Sodiro A, Gay R, Canal A, Mangold AJ, Peña AE (2003) Aptitud ecológica de los Departamentos Castellanos y Las Colonias, Santa Fe, para sustentar hipotéticas poblaciones de la garrapata común del vacuno, *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Rev Invest Agro* 32:75–92
62. Souza FS de, Botelho MCSN, Lisbôa RS (2012) Aplicação do geoprocessamento na análise da distribuição espaço-temporal de áreas potenciais à ocorrência simultânea de dermatobiose e carrapato *Rhipicephalus microplus* em bovinos no Município de Seropédica, RJ, Brasil. *Arq Inst Biol* 79:17–23 . <https://doi.org/10.1590/S1808-16572012000100003>
63. Farias NA, Stobbe NS, Chistovão ML, Perri SHV, Costa AJ (1995) Influência das condições climáticas da Região Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil, sobre os estágios não-parasitários do carrapato *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). *Rev Bras Parasitol Vet* 4:67–77
64. Sutherst RW, Moorhouse DE (1972) The seasonal incidence of Ixodid ticks on cattle in an elevated area of South-Eastern Queensland. *Aust J Agric Res* 23:195–204 . <https://doi.org/10.1071/ar9720195>
65. Davey RB, Cooksey LM, Despins JL (1991) Survival of larvae of *Boophilus annulatus*, *Boophilus microplus*, and *Boophilus* hybrids (Acari: Ixodidae) in different temperature and humidity regimes in the laboratory. *Vet Parasitol* 40:305–313 . [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(91\)90110-H](https://doi.org/10.1016/0304-4017(91)90110-H)
66. Garris GI, Popham TW, Zimmerman RH (1990) *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae): oviposition, egg viability, and larval longevity in grass and wooded environments of Puerto Rico. *Environ Entomol* 19:66–75 . <https://doi.org/10.1093/ee/19.1.66>
67. Kivaria FM (2006) Estimated direct economic costs associated with tick-borne diseases on cattle in Tanzania. *Trop Anim Health Prod* 38:291–299 . <https://doi.org/10.1007/s11250-006-4181-2>
68. Rodríguez-Vivas RI, Grisi L, Pérez de León AA, Villela H, Torres-Acosta JF de J, Fragoso HS, Salas DR, Cruz RR, Saldierna F, Carrasco DG (2017) Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. *Rev Mex Cienc Pecu* 8:61 . <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4305>
69. Ghosh S, Azhahianambi P, de la Fuente J (2006) Control of ticks of ruminants, with special emphasis on livestock farming systems in India: present and future possibilities for integrated control—a review. *Exp Appl Acarol* 40:49–66 . <https://doi.org/10.1007/s10493-006-9022-5>
70. Vetrivel D, Pandian ASS, Selvakumar KN, Shree JS (2017) A study on the prevalence of babesiosis in north eastern agro-climatic zone of Tamil Nadu, India. *J Entomol Zool Stud* 5:1271–1273

Table 1. Climate variables used in ecological niche modeling of current and future potential distributions of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Bioclimatic variables from WorldClim data archive (Hijmans et al., 2005) and relative humidity (www.ipcc-data.org) were used for modeling. Five variables (▪) were selected for modelling via our model selection processing (Cobos et al., 2019).

Acronym	Description	% variable contribution
Bio1 (▪)	<i>Annual mean temperature</i>	26.6
Bio2	<i>Mean diurnal range</i>	
Bio3	<i>Isothermality</i>	
Bio4 (▪)	<i>Temperature seasonality (SD * 100</i>	21.4
Bio5	<i>Max temperature of warmest month</i>	
Bio6	<i>Min temperature of coldest month</i>	
Bio7	<i>Temperature annual range</i>	
Bio8 *	<i>Mean temperature of wettest quarter</i>	
Bio9 *	<i>Mean temperature of driest quarter</i>	
Bio10	<i>Mean temperature of warmest quarter</i>	
Bio11	<i>Mean temperature of coldest quarter</i>	
Bio12 (▪)	<i>Annual precipitation</i>	14.6
Bio13	<i>Precipitation of wettest month</i>	

Bio14 (▪)	<i>Precipitation of driest month</i>	19.2
Bio15	<i>Precipitation seasonality</i>	
Bio16	<i>Precipitation of wettest quarter</i>	
Bio17	<i>Precipitation of driest quarter</i>	
Bio18 *	<i>Precipitation of warmest quarter</i>	
Bio19 *	<i>Precipitation of coldest quarter</i>	
RH (▪)	<i>Relative humidity</i>	18.1

---

\*variables were excluded because they have artefacts [45]

Table 2. Proportional modification of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* suitability in climate change scenarios divided by zoogeographic regions and livestock abundance categories worldwide [56, 57] for 2050 scenarios. Values >10% are shown in bold.

Scenarios	Regions	Cattle abundance (individuals / 10 km <sup>2</sup> )							All categories (Average)
		0 - 1	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	> 100	
RCP 4.5	Afrotropic	1.57	5.78	6.47	6.23	5.86	6.93	7.75	5.80
	Australasia	6.26	6.10	0.91	1.41	9.94	7.81	3.99	5.20
	Indo- Malayan	3.02	2.82	3.55	3.27	5.64	<b>11.44</b>	<b>31.55</b>	8.76
	Nearctic	<b>16.09</b>	3.62	2.87	4.52	4.40	2.46	<b>25.48</b>	8.49
	Neotropic	9.42	5.71	4.87	5.61	5.70	4.44	8.95	6.39
	Palaearctic	9.05	2.83	3.22	4.32	3.13	0.79	0.49	3.40
	RCP 8.5	Afrotropic	0.60	1.96	1.33	2.19	1.98	1.23	1.72
	Australasia	1.53	0.50	0.06	0.16	0.61	0.00	0.00	0.41
	Indo- Malayan	3.39	2.34	4.24	4.36	6.04	6.54	6.28	4.74
							<b>134.8</b>		
	Nearctic	<b>33.12</b>	2.50	1.90	1.62	5.65	<b>32.89</b>	<b>7</b>	30.36

	Neotropic	2.69	2.68	2.40	2.33	1.90	1.29	0.59	1.99
	Palaearctic	<b>22.88</b>	<b>26.74</b>	<b>12.78</b>	<b>10.35</b>	6.61	4.80	1.78	12.28
Both	Afrotropic	4.58	<b>10.21</b>	<b>14.19</b>	<b>11.24</b>	7.80	7.77	9.97	9.39
	Australasia	<b>13.65</b>	5.97	8.18	7.26	9.26	7.92	2.91	7.88
	Indo-								
	Malayan	<b>25.17</b>	<b>12.77</b>	<b>11.14</b>	<b>11.91</b>	<b>18.24</b>	<b>20.53</b>	<b>34.57</b>	19.19
	Nearctic	<b>50.34</b>	4.25	2.50	1.68	2.35	8.62	3.01	10.39
	Neotropic	<b>29.87</b>	<b>13.68</b>	<b>12.14</b>	9.71	7.82	5.44	8.87	12.50
	Palaearctic	<b>32.03</b>	<b>40.84</b>	<b>18.65</b>	<b>15.71</b>	<b>13.09</b>	8.95	4.51	19.11

Table 3. Proportional modification of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* suitability in climate change scenarios divided by zoogeographic regions and livestock abundance categories worldwide [56, 57] for 2070 scenarios. Values >10% are shown in bold.

Scenarios	Regions	Cattle abundance (individuals / 10 km <sup>2</sup> )							All categories (Average)
		0 - 1	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	> 100	
RCP 4.5	Afrotropic	3.23	8.86	<b>10.68</b>	<b>10.75</b>	9.04	5.10	1.96	7.09
	Australasia	7.09	7.30	2.97	3.51	9.65	0.90	2.60	4.86
	Indo-Malayan	5.73	6.43	8.60	7.84	<b>11.35</b>	<b>16.99</b>	<b>47.84</b>	14.97
	Nearctic	<b>11.66</b>	2.19	1.81	2.03	1.22	0.82	0.00	2.82
	Neotropic	<b>19.67</b>	<b>11.25</b>	<b>11.39</b>	9.47	8.88	6.95	<b>11.44</b>	11.29
	Palaearctic	6.60	6.31	5.16	5.63	3.19	1.64	0.48	4.15
RCP 8.5	Afrotropic	0.09	0.81	0.50	0.75	1.16	4.03	5.97	1.90
	Australasia	5.19	1.71	0.47	0.26	0.32	0.76	0.10	1.26
	Indo-Malayan	6.03	1.50	1.94	2.17	2.51	4.81	3.47	3.20
	Nearctic	<b>86.15</b>	2.25	1.11	0.78	1.73	4.97	4.03	14.43

	Neotropic	0.95	2.02	1.33	1.45	1.76	1.06	0.09	1.24
	Paelearctic	<b>39.17</b>	<b>38.77</b>	<b>26.97</b>	<b>18.92</b>	<b>13.40</b>	4.01	2.68	20.56
Both	Afrotropic	2.05	3.96	6.83	4.66	3.68	6.87	<b>11.02</b>	5.58
	Australasia	<b>10.49</b>	3.33	8.50	7.70	<b>13.94</b>	<b>10.34</b>	7.29	8.80
	Indo-								
	Malayan	<b>18.37</b>	<b>10.01</b>	9.32	9.93	<b>15.52</b>	<b>13.45</b>	<b>16.74</b>	13.33
	Nearctic	<b>77.68</b>	4.88	1.88	1.39	1.23	5.50	3.01	13.65
	Neotropic	<b>14.48</b>	5.44	5.14	4.15	3.31	1.91	3.70	5.45
	Paelearctic	<b>38.34</b>	<b>42.56</b>	<b>21.47</b>	<b>23.21</b>	<b>18.73</b>	<b>13.60</b>	6.33	23.46

---

## Supplementary information

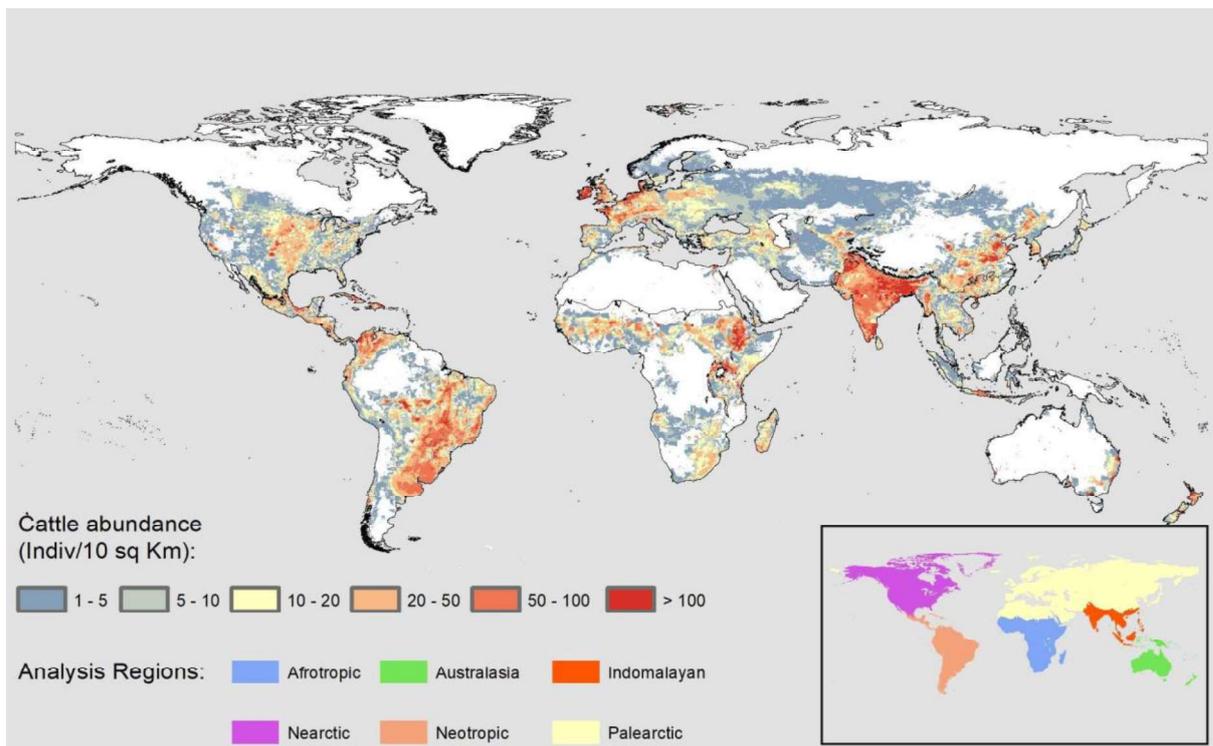
Additional file 1. General circulation models used in ecological niche modeling projections in RCP 4.5 and RCP 8.5 for 2050 and 2070.

General circulation model acronym	Institution
bnu_esm	Beijing Normal University Earth System Model
cesm1_bcg	National Center for Atmospheric Research, USA
cesm1_cam5	National Center for Atmospheric Research, USA
csiro_access1_3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Australia
csiro_access1	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Australia
gfdl_cm3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
gfdl_esm2g	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
gfdl_esm2m	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
giss_e2_r	NASA Goddard Institute for Space Studies USA
inm_cm4	Russian Institute for Numerical Mathematics
miroc_esm	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
miroc_esm_chem	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
miroc_miroc5	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

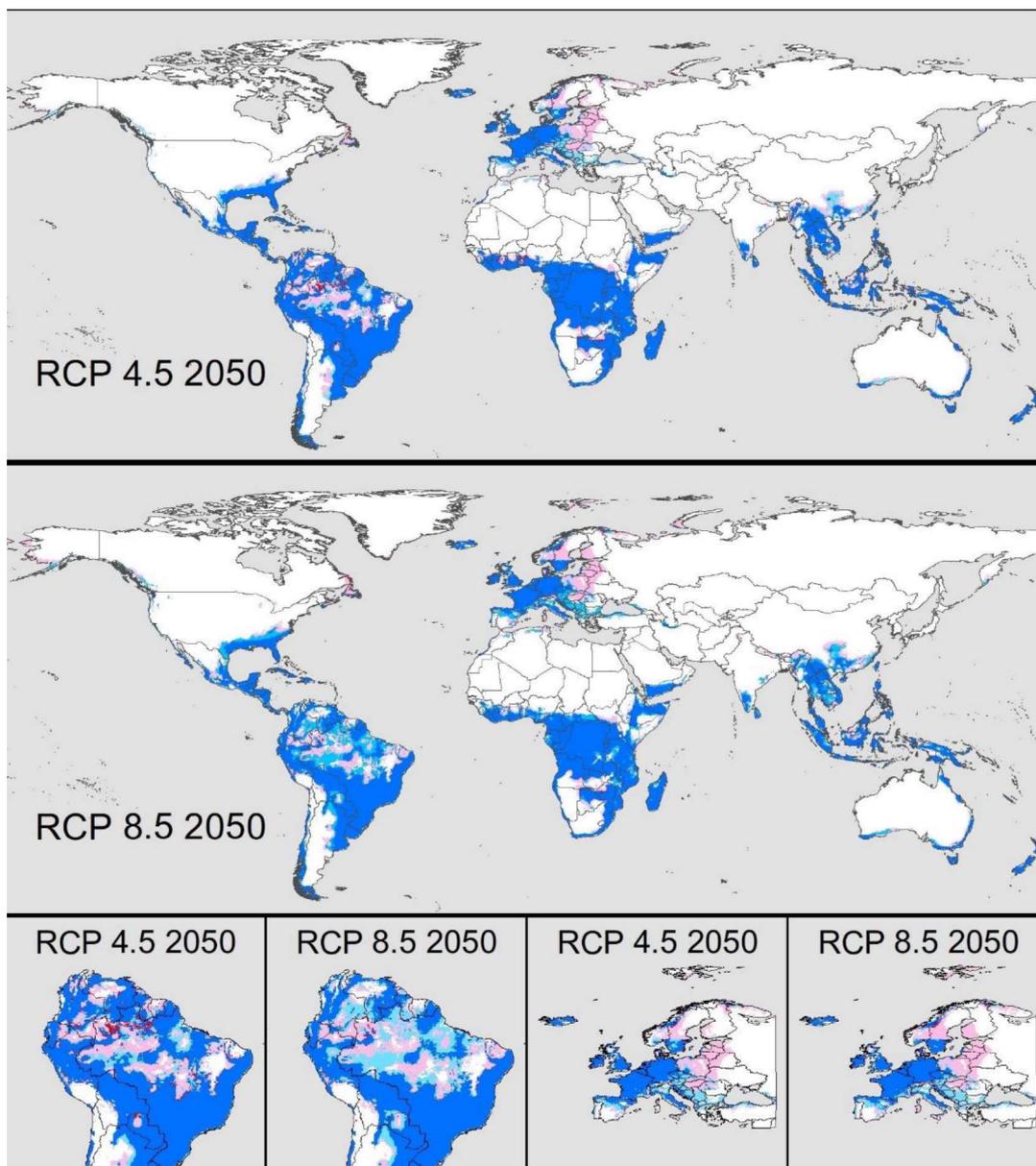
mohc_hadgem2_cc	UK Met Office Hadley Centre
mohc_hadgem2_es	UK Met Office Hadley Centre
mri_cgcm3	Meteorological Research Institute
ncar_ccsm4	US National Centre for Atmospheric Research
ncc_noresm1_m	Norwegian Climate Centre
nimr_hadgem2	UK Met Office Hadley Centre
Cccma_canesm2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis Canada
Mpi_esm_lr	Max Planck Institute for Meteorology, Germany

---

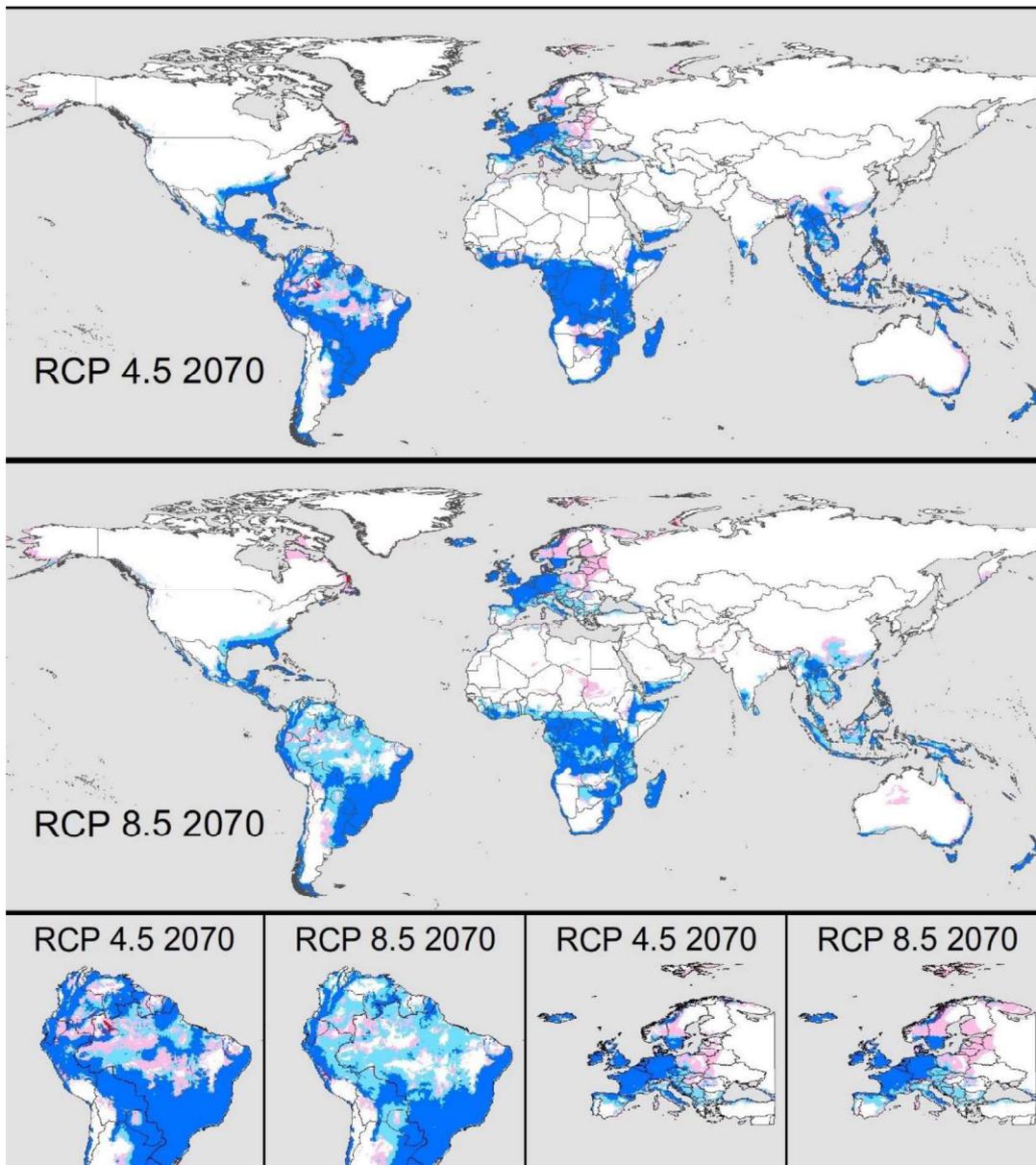
Additional file 2. Cattle abundances categorized from FAO and Robinson et al. (2014) in different zoogeographical regions in the world to evaluate *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* suitability in each of them under future climate change and present-day scenarios. Abundances are represented in number of cattle individuals per 10 km<sup>2</sup>.



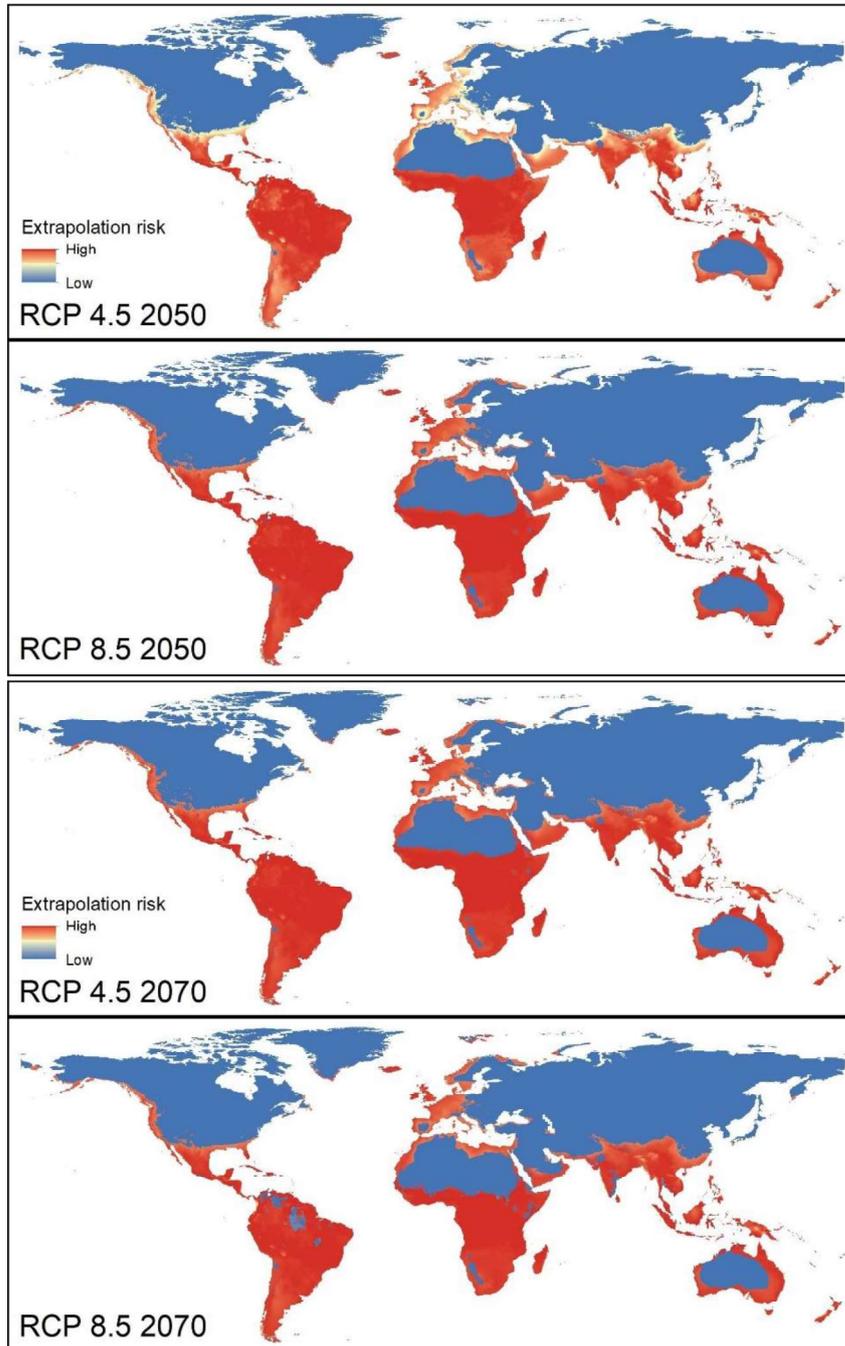
Additional file 3. Current and potential future distributions of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* for two emissions scenarios (top, RCP 4.5; bottom, RCP 8.5) in 2050. Dark blue: areas predicted to be suitable in present-day and in with a strong chance of suitability in the future (>12 GCMs); light blue: areas predicted to be suitable in present-day but with reduced probability of presence in the future (<12 GCMs); red: areas unsuitable in the present-day, but with a strong chance of suitability in the future (>12 GCMs); pink: areas predicted to be unsuitable in present-day but have slight chance of suitability in the future (<12 GCMs), and white: areas unsuitable in both present-day and the future scenarios.



Additional file 4. Current and potential future distributions of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* for two emissions scenarios (top, RCP 4.5; bottom, RCP 8.5) in 2070. Dark blue: areas predicted to be suitable in present-day and in with a strong chance of suitability in the future (>12 GCMs); light blue: areas predicted to be suitable in present-day but with reduced probability of presence in the future (<12 GCMs); red: areas unsuitable in the present-day, but with a strong chance of suitability in the future (>12 GCMs); pink: areas predicted to be unsuitable in present-day but have slight chance of suitability in the future (<12 GCMs), and white: areas unsuitable in both present-day and the future scenarios.



Additional file 5. MOP analysis of extrapolation risk from the calibration area under current conditions to the whole world under future conditions.



## Figure legends

Figure 1. Calibration area and the known distribution of *R. (B.) microplus* (points). Occurrence records used in model calibration (test and training) are shown; occurrences in Africa were used as independent data to evaluate the accuracy of model transfer to the world.

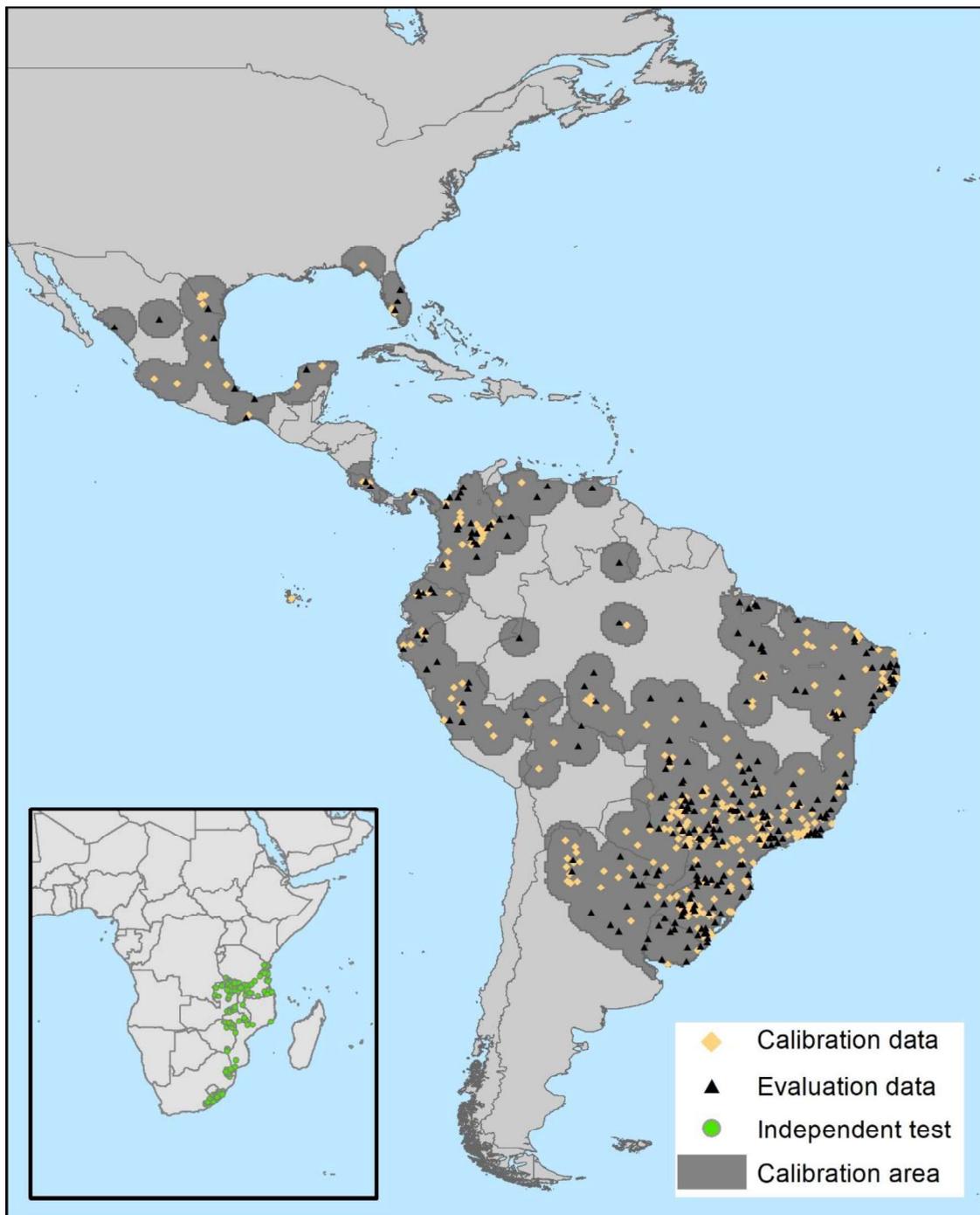


Figure 2. Present-day suitability for *R. microplus* according to the best ecological niche model, under current conditions.

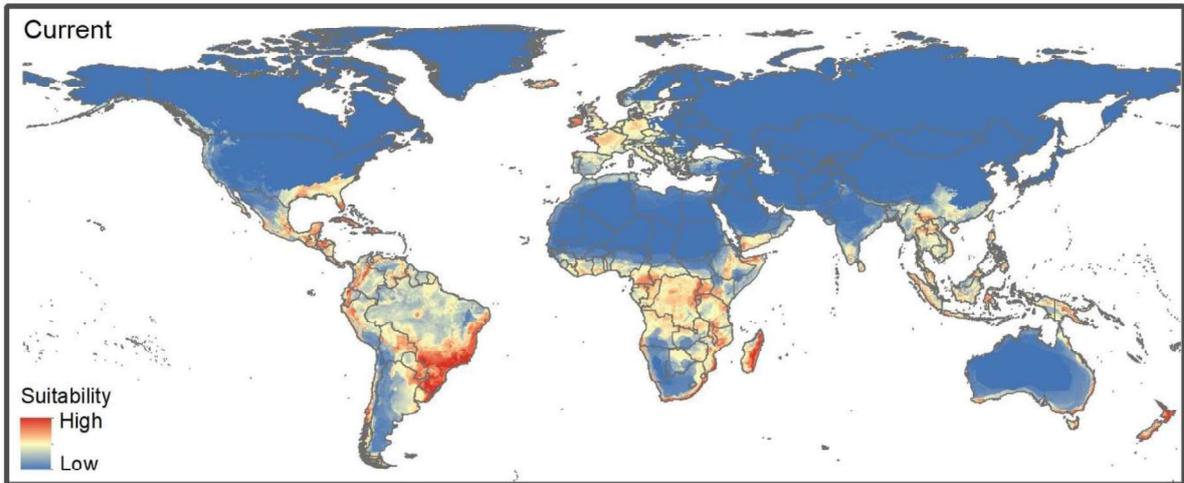


Figure 3. Suitability for *R. microplus* in 2050 under RCP 4.5 and 8.5.

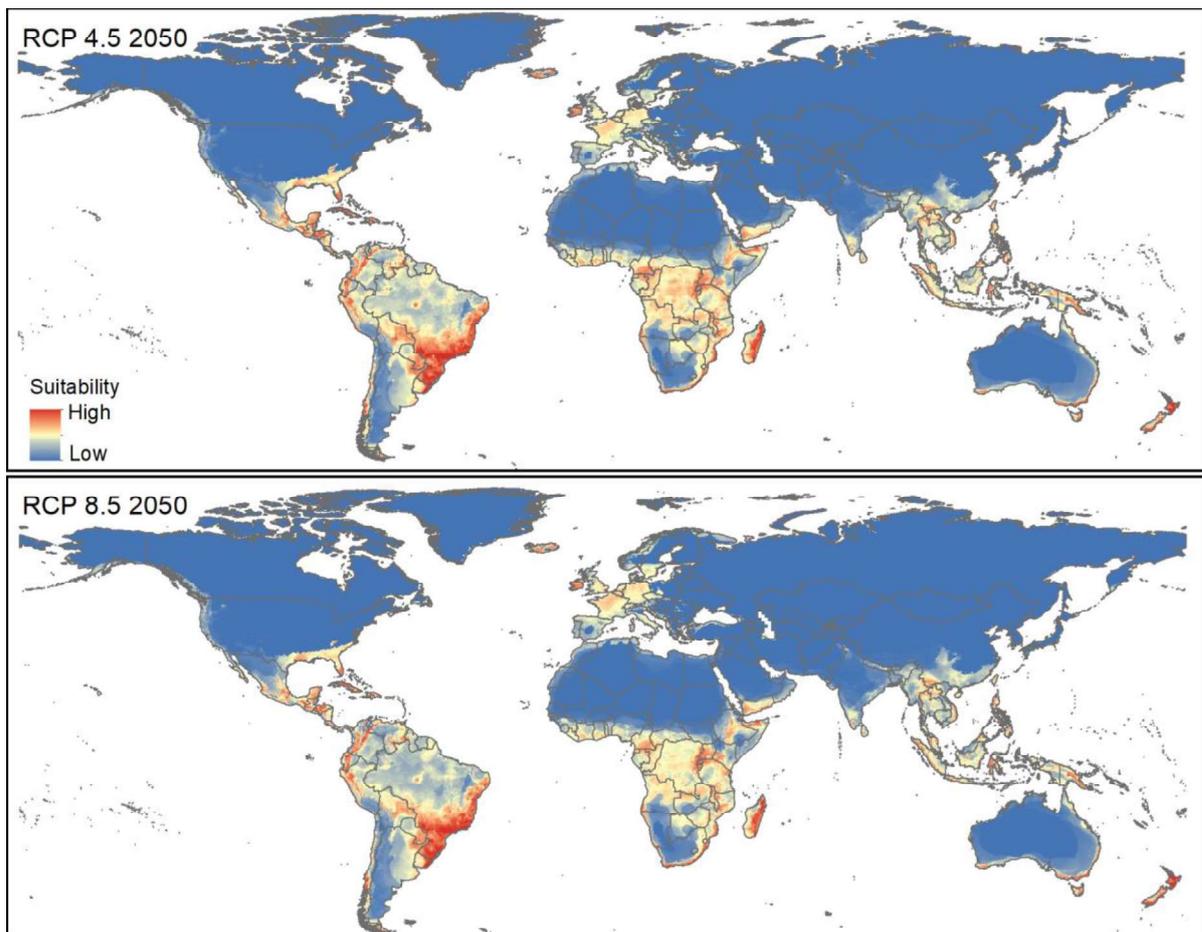
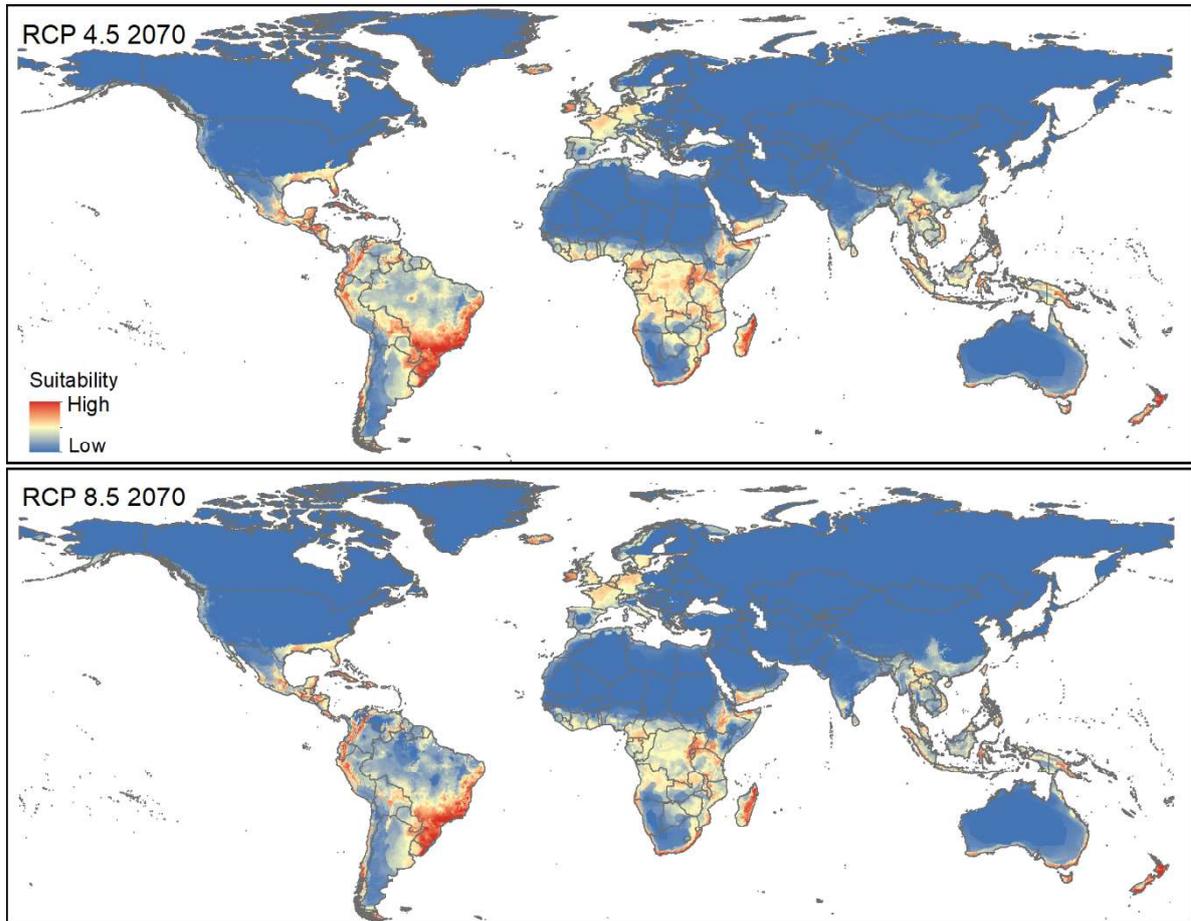


Figure 4. Suitability for *R. microplus* in 2070 under RCP 4.5 and 8.5.



## **5. Artigo 2**

Padrões geográficos e o impacto das mudanças climáticas na eclosão de ovos de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae).

O manuscrito a seguir atende às normas da revista científica:

*Ticks and Ticks borne diseases*

Padrões geográficos e o impacto das mudanças climáticas na eclosão de ovos de  
*Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae)

Roberta Marques<sup>1\*</sup>, Daniel Jiménez García<sup>2</sup>, Rodrigo Ferreira Krüger<sup>3</sup>

1 Laboratório de Ecologia de Parasitos e Vetores, Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Brasil. Email: roberta.marques@ufpel.edu.br \*autor correspondente

2 Centro de Agroecología y Ambiente, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla, México. Email: daniel.jimenez@correo.buap.mx

3 Laboratório de Ecologia de Parasitos e Vetores, Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Brasil. Email: rfkruger@gmail.com

## Resumo

As condições ambientais exercem papel fundamental no desenvolvimento da fase de vida livre do carrapato *R. (B.) microplus*, vetor de patógenos causadores de doenças em animais silvestres e de produção. Utilizamos dados fisiológicos da espécie para modelar o impacto das mudanças climáticas nas áreas geográficas aptas à eclodibilidade de ovos desse carrapato e indicamos novas áreas para eclosão de ovos, considerando dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCPs 4.5 e 8.5) para dois períodos (2050 e 2070). Nossos

resultados mostraram o acréscimo de áreas aptas a eclosão dos ovos em todos os cenários futuros, principalmente para o RCP 8.5 (2070), para os percentuais de eclosão maiores de 50% em que os acréscimos (~15%) foram indicados para a América Central, sul do Brasil, centro e oeste da África, Indonésia e Malásia. Este estudo demonstra a utilização de dados fisiológicos para exemplificar os possíveis impactos das mudanças climáticas na modulação de áreas aptas ao desenvolvimento de uma fase de vida livre de *R. (B.) microplus*.

Palavras-chave: carrapato; aquecimento global; modelagem; vetor; rebanho bovino; ectoparasito.

## Introdução

Carrapatos são considerados os artrópodes mais importantes na vetorização de patógenos para animais domésticos e selvagens (Fuente, 2008). A espécie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1887), popularmente conhecido como “carrapato do boi”, é um importante ectoparasito hematófago de animais de produção, domésticos e silvestres, capaz de transmitir patógenos, como os protozoários *Babesia bovis*, *B. bigemina*, e a bactéria *Anaplasma marginale*; que são agentes causadores da doença conhecida como “tristeza parasitária bovina” (Cafrune et al., 1995; de Castro, 1997; Dias Filho et al., 2007; Pound et al., 2010). Além disso, o carrapato também é responsável pela vetorização de outras espécies de *Anaplasma* e *Ehrlichia* que acometem os rebanhos bovinos (Jones et al., 1972; Matysiak et al., 2016; McCosker, 1981; Uilenberg et al., 1979).

Na América do Sul, *R. (B.) microplus* ocorre em regiões tropicais e subtropicais (De Clercq et al., 2013; Evans et al., 2000), contudo, é originário da Ásia (Da Rocha, 2003; Labruna et al., 2009) e desenvolve-se bem em outros continentes. Na África e nas Américas encontrou condições ambientais ótimas ao desenvolvimento e estabelecimento de suas novas populações, que são consideradas geneticamente distintas daquelas encontradas no seu continente de origem (Burger et al., 2014; Labruna et al., 2009).

As altas infestações de *R. (B.) microplus* propiciam maiores taxas de transmissão de patógenos, ocasionando o emagrecimento dos animais infectados, gerando grandes perdas econômicas em rebanhos de produção animal, podendo levá-los à morte (Grisi et al., 2014). Devido à expoliação e à vetorização de patógenos, ocorrem quedas nas produções de carne e leite (Sutherst et al., 1983) além de causar danos no couro do animal (Seifert et al., 1968). Países com alta população de gado relataram perdas significativas na produção de carne (por exemplo, Brasil, com US \$ 3,4 bilhões por ano (Grisi et al., 2014) México, com US \$ 573 milhões por ano (Rodríguez-Vivas et al., 2017) e Tanzânia, com US \$ 364 milhões por ano (Kivaria, 2006). Estudos indicaram que *R. (B.) microplus* é muito populoso em rebanhos bovinos nas Américas e, por isso, é indicado como o carrapato responsável pelas maiores perdas econômicas ocorridas na América do Sul (Gonzales et al., 1975; Nari, 1995). Além disso, a Índia possui 38% de bovinos do mundo, onde a babesiose é uma doença comum e que causa importantes perdas econômicas: no nordeste da Índia ~ 4% dos bovinos morreram devido a essa doença (Ghosh et al., 2006; Vetrivel et al., 2017). Estima-se que as perdas econômicas anuais alcancem valores entre US \$ 13 e 18 bilhões em todo o mundo (EMBRAPA, 2013).

O ciclo de vida desse carrapato é monoxênico, apresenta uma fase de vida parasitária: larvas, ninfas, adultos machos e fêmeas; o que representa 5% da população total local da espécie (Gonzales et al., 1974; Wharton and Utech, 1970). A outra fase é de vida livre, sendo possível encontrar no ambiente os ovos e as larvas infectantes, que representam 95% da população total local (Gonzales et al., 1974; Wharton and Utech, 1970). O sucesso da prole nesta fase necessita de condições abióticas apropriadas, principalmente de temperatura e umidade (Gonzales et al., 1974; Hitchcock, 1955; Wharton and Utech, 1970). As populações de *R. (B.) microplus* são dependentes de alguns fatores: disponibilidade de hospedeiros, competição com outras espécies de carrapatos e condições climáticas (Chevillon et al., 2013; Estrada-Peña et al., 2006; Lindgren et al., 2000; Parola and Raoult, 2001; Süss et al., 2008). Estudos fisiológicos estimaram que a mínima umidade relativa do ar, para eclosão dos ovos, é de 70% e, a sobrevivência dos mesmos varia entre temperaturas médias de 17 e 39°C; sendo a temperatura mínima responsável pelo controle do crescimento populacional de *R. (B.) microplus* (Bennett, 1974; Farias et al., 1995; Hitchcock, 1955).

Considerando que os fatores climáticos influenciam nas populações de *R. (B.) microplus*, atuando na modulação do percentual de eclosão dos ovos, alguns estudos estimaram a abundância populacional desse carrapato baseados em fatores climáticos e ambientais locais, além disso, foram criados modelos de simulação de casos de babesiose para inferir sobre o tamanho da população de *R. (B.) microplus* (Smith, 1984); modelos populacionais baseados em dados de grau-dia, incubação e pré-incubação (De la Vega and Diaz, 1986; De la Vega and Díaz, 1985a, 1985b, 1985c; Saueressig and Honer, 1995, 1993). Ainda assim, existe a necessidade de

verificar como as mudanças climáticas podem influenciar nesta fase de vida livre do carrapato (Wang et al., 2017).

Para desenvolver estratégias de controle populacional deste vetor, é necessário identificar áreas de potencial estabelecimento da espécie após sua introdução (Estrada-Peña, 1999). Devido à influência do clima sobre os processos ecológicos e biológicos que afetam o tamanho da população e, conseqüentemente, a transmissão de patógenos vetorizados por esse carrapato (Reisen, 2010; Tabachnick, 2010), neste estudo nós indicamos as áreas geográficas que apresentam condições ambientais ótimas para a eclosão de ovos de *R. (B.) microplus* em circunstâncias atuais e futuras, em dois cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e 8.5) e para dois períodos (2050 e 2070). Nós indicamos as áreas de persistência ambiental apta para a eclosão dos ovos, bem como o acréscimo e o deslocamento de áreas geográficas para cinco categorias de percentuais de eclosão de ovos, baseados em dados fisiológicos da espécie.

## Material e métodos

### Obtenção dos limites fisiológicos para a eclosão dos ovos de *R. (B.) microplus*

Para a modelagem do percentual de eclosão de ovos de *R. (B.) microplus* foram utilizados os dados de limites fisiológicos da espécie publicados por Hitchcock (1955). Nós delimitamos, no espaço ambiental, as tolerâncias climáticas baseadas em dois fatores abióticos, fundamentais para a sobrevivência e, conseqüentemente, para o controle populacional da espécie: temperatura média anual e umidade relativa do ar, que afetam diretamente o estágio de ovo de *R. (B.) microplus* (Bennett, 1974; Farias et al., 1995; Gonzales et al., 1975, 1974). Para complementar

os dados, conforme a variação de temperatura e humidade relativa, nós criamos essas informações através de um GLM (*General Linearized Model*), realizado no R (versão 3.5.0). Estes resultados foram produzidos baseados nas duas condições abióticas, o que permitiu as predições de eclodibilidade dos ovos considerando os dados apresentados pelo autor.

### Variáveis climáticas

Para a construção do modelo, utilizamos uma variável de temperatura média anual (T) disponível em: <http://www.worldclim.org/bioclim> (Hijmans et al., 2005), e uma variável de humidade relativa do ar (UR) (Coupled Model Intercomparison Project - CMIP5 - [https://www.ipcc-data.org/sim/gcm\\_monthly/AR5/Reference-Archive.Htm](https://www.ipcc-data.org/sim/gcm_monthly/AR5/Reference-Archive.Htm) I?fbclid=IwAR3dUOeFLxFTtHX13VDC-GHh5ZhHrt7FvW4hU1PWBwtiuD4B2IW2DwOuU - (Marques et al, 2020 – em revisão; Taylor et al., 2012), ambas com resolução de 0.2 graus (~22 km). Para os cenários futuros foram utilizadas as mesmas variáveis contruídas para 20 modelos de circulação geral (GCMs) provenientes do portal “*Climate Change, Agriculture and Food Security*” (CCAFS; [http://www.ccafs-climate.org/data\\_spatial\\_downscaling/](http://www.ccafs-climate.org/data_spatial_downscaling/)). As projeções futuras foram feitas para dois cenários de aquecimento global (RCP 4.5 e 8.5), para os anos de 2050 e 2070.

### Modelagem

A partir dos resultados gerados pelo GLM nós contruímos um modelo geomático para os ovos, empregando o *software* de SIG TerrSet, que nos permitiu projetar os limites das duas variáveis (T e UR) do espaço ambiental no espaço geográfico (Peterson et al., 2011). O resultado deste modelo foi um mapa contínuo de

percentual de eclodibilidade de ovos, conforme a variação de T e UR dentro dos limites de cada categoria: categoria 1 (75 – 100%; T de 21 a 36°C; UR de 83 a 100%); categoria 2 (50 – 75%; T de 20 a 37°C; UR de 79 a 100%); categoria 3 (25 – 50%; T de 19 a 37 °C ; UR de 76 a 100%); categoria 4 (10 – 25%; T de 18 a 38°C; UR de 73 a 100%) e categoria 5 (1 – 10%; T de 18 a 39 °C; UR de 70 a 100%) (Figura 1). Para todas as categorias foram desconsiderados os dados que estavam dentro dos limites menores de 70% de umidade relativa do ar, pois os ovos não eclodem quando submetidos a valores inferiores a essa condição (Bennett, 1974; Hitchcock, 1955). Para os espaços geográficos em que houve sobreposição de categorias, consideramos apenas aquela que representava maior percentual de eclosão.

Os mapas contínuos para o presente foram binarizados, a fim de localizar as regiões geográficas com condições ambientais dentro dos limites fisiológicos de cada categoria de eclosão de ovos. Para avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre cada uma das categorias, determinamos os acréscimos potenciais nas faixas de distribuição da espécie através dos 20 GCMs, calculando se no espaço geográfico as áreas não adequadas climaticamente (presença de uma ou nenhuma das variáveis climáticas) no presente, seriam adequadas (presença das variáveis climáticas) no futuro. Para este procedimento utilizamos o mesmo GLM para as novas condições ambientais futuras, gerando o total de 400 mapas (5 categorias x 20 GCMs X 2 RCPs (4.5 e 8.5) X 2 períodos de tempo (2050 e 2070)) de predições para a eclosão de ovos de *R. (B.) microplus*. Após, esses resultados contínuos foram binarizados e somados para determinar as áreas geográficas em que futuramente os 20 GCMs concordariam e indicaram locais com as condições ambientais para cada categoria, em outras palavras, sumarizamos os resultados

para os cenários futuros, por período de tempo e condições de mudança climática, para cada categoria; fizemos a sobreposição dos resultados de todos os 20 GCMs, que concordavam em ambos resultados de mudança climática e de período de tempo, resultando apenas com as áreas de concordância para os resultados binarizados. Esse procedimento gerou um mapa para cada RCP por período de tempo e por categoria.

Para calcularmos e visualizarmos o impacto da mudança climática sobre as categorias de eclosão de ovos, realizamos a diferença entre os mapas binarizados para o presente e para os cenários futuros, por categoria. Calculamos o ganho de áreas (km<sup>2</sup>) e o quanto esse acréscimo representava proporcionalmente (%) à área do modelo para o presente. A similaridade entre os mapas para o presente e para o futuro foram indicadas por *Kappa Index of Agreement* (KIA - Índice Kappa de Concordância) e a significância testada por qui-quadrado. Esses procedimentos foram realizados no IDRISI TerrSet 18.31.

No *software ArcMap* 10.3, os resultados das áreas, por período de tempo e por cenário de mudança climática, foram sumarizados em um mapa de sobreposição de todas as categorias para o presente e futuros.

## Resultados

De maneira geral, o modelo indicou áreas dos continentes americano, africano e asiático; com temperatura e umidade relativa do ar apropriadas para o desenvolvimento das cinco categorias de eclosão de ovos. A categoria 1 (maiores percentuais de eclosão de ovos) registrou as maiores extensões territoriais com a

presença das condições ambientais para a eclosão dos ovos de *R. (B.) microplus*, indicadas em países mais próximos a linha do Equador, com maior área na região amazônica e, na região leste de Madagascar. As demais categorias se concentraram próximas às áreas de categoria 1 e, apresentaram o padrão de diminuição dos percentuais de eclosão mais ao norte e sul, em relação à categoria 1 (Figuras 1 e 2).

Para os cenários futuros o mesmo padrão continuou como o apresentado para o presente, nos dois cenários de emissões de gases de efeito estufa para 2050 e 2070. Os maiores acréscimos de área indicados para todas as categorias foram detectados para o RCP 8.5 (maiores emissões de gases de efeito estufa), principalmente, para 2070 (Tabela 1).

A categoria 1 apresentou o aumento de ~65.000 km<sup>2</sup> (1,12%) (Tabela 1) de novas áreas para os maiores percentuais de eclodibilidade em países das Américas: Equador, Colômbia, Costa Rica e Panamá e, Ásia: Indonésia e Malásia. (Tabela 1; Figuras 2 e 3), estando as condições ambientais presentes em áreas de maiores altitudes nestes países.

Para todos os cenários futuros, a categoria 2 apresentou ganhos de áreas na região centro-oeste (São Paulo) e extremo sul do Brasil; regiões de borda amazônica e da Nicarágua; centro da República do Congo; noroeste do Gabão e áreas próximas ao litoral sul do oeste africano; além da Ásia, no sul do Vietnã (Figuras 2 e 3).

Os maiores incrementos de áreas para categoria 3 foram indicados em áreas pós limites amazônicos; áreas da região sul do Brasil e Uruguai; regiões da África, principalmente no centro da República Democrática do Congo e de Madagascar e; o maior incremento foi indicado para o sul e sudoeste da China (RCP 8.5 - 2070) (Figura 3).

A categoria 4 apresentou os maiores ganhos de áreas em km<sup>2</sup>, em todos os cenários futuros de mudança climática (Tabela 1), principalmente em áreas do centro do Brasil, região do Pantanal e Bolívia; nordeste da Argentina; sul do México e nos EUA: Texas, Luisiana e Flórida; na África principalmente na República Democrática do Congo fronteira com Angola; Madagascar e regiões nordeste e noroeste da Somália; além da Ásia, na região sudeste da China (Figuras 2 e 3).

As maiores proporções de ganho de áreas foram indicadas para a categoria 5, com o maior incremento (38.68%) indicado para o RCP 8.5 para 2070 (Tabela 1), em áreas do centro e sul brasileiros, Uruguai e Argentina; nos EUA nos estados do Alabama, Mississípi, Arkansas, Tennessee e região litorânea da Carolina do Norte e Carolina do Sul; na África, em regiões da Tanzânia (Masasi e Songea) e norte e centro da República Democrática do Congo; além da região central e leste da Tailândia, fronteira com Laos.

A similaridade entre os resultados para o presente e os cenários futuros, em geral, foram maiores que 0,5; com exceção à categoria 5 que apresentou valores de KIA > 0,32 e < 0,45 (Tabela 2). Todas as diferenças entre as comparações foram estatisticamente significativas (P < 0,05).

## Discussão

O percentual de eclodibilidade dos ovos de *R. (B.) microplus* está intimamente associado aos fatores climáticos disponíveis no ambiente (Bennett, 1974; Farias et al., 1995), considerando que a fêmea ovípara e morre, não havendo cuidado parental posterior (Gonzales et al., 1974), permanecendo a massa de ovos no ambiente. O acréscimo de áreas geográficas indicado para alguns países, para os percentuais de eclodibilidade de ovos, pode ser explicado pelo efeito de deslocamento das áreas de aumento da temperatura média anual e/ou diminuição da umidade relativa do ar em áreas que apresentam modificações no clima, o que implica diretamente na composição do ambiente e, indiretamente nos micro-habitats adequados ao desenvolvimento deste estágio de vida livre do carrapato (Farias et al., 1995; Garris et al., 1990; Short et al., 1989). Isso pode ser explicado porque os ovos expostos à luz solar direta ou ao mormaço dos dias quentes, tendem a apresentar baixa fertilidade (Copeman, 1978). Ao contrário do que acontece durante as estações chuvosas que, devido à elevação da umidade e temperaturas adequadas, diminui o período de incubação (Bennett, 1974; Hitchcock, 1955), aumentando o percentual de eclodibilidade e resultando no aumento do número de larvas infectantes. Ainda, de forma indireta, as condições climáticas influenciam no rápido crescimento das pastagens, o que propicia um abrigo temporário aos ovos diante das intempéries climáticas (Copeman, 1978; Racelis et al., 2012).

Regiões geográficas indicadas como ambientalmente aptas à eclodibilidade dos ovos de *R. (B.) microplus*, além de apresentar disponibilidade das condições climáticas adequadas para a espécie, também estão relacionadas a outros fatores importantes:

1) A invasão dessa espécie de carrapato tem sido atribuída à sua alta capacidade reprodutiva e ampla variação de exigências fisiológicas para o desenvolvimento dos ovos (Garris et al., 1990; Hitchcock, 1955). A eclodibilidade dos ovos pode ser iniciada a partir de 70% de umidade relativa do ar e de 18°C de temperatura média, contudo, mesmo a temperatura sendo a responsável pelo controle do percentual de eclosão dos ovos, algumas populações, que estão localizadas em áreas geográficas em que o inverno é frio (temperaturas mínimas de 0°C), não impede a eclosão da massa total da ovipostura (Hitchcock, 1955; Souza et al., 1988), além disso, os ovos podem permanecer por ~duas semanas sob temperatura de -6°C e não apresentarem seu desenvolvimento afetado (Hitchcock, 1955).

(2) O aumento das áreas com maiores altitudes para o desenvolvimento da categoria 1, pode ser influenciado pela característica de que *R. (B.) microplus* apresenta, relativamente, curto período de ciclo de vida. No estágio de vida livre, o período de pré oviposição das fêmeas pode variar entre 19 e 39 dias, com temperatura de 16°C e, diminui para 2 ou 3 dias quando a temperatura é de 36°C; sendo a maior oviposição, ~2500 ovos, quando a temperatura é de 24°C (Bennett, 1974; Farias et al., 1995; Gonzales et al., 1975; Hitchcock, 1955), diminuindo a quantidade de ovos em temperaturas mais baixas e altas. Talvez esses limites fisiológicos, necessários para o desenvolvimento e eclodibilidade dos ovos, apresentem a tendência de deslocamento para áreas mais altas do que aquelas encontradas atualmente e, por isso, é possível visualizar o padrão de “subida” para regiões com maiores altitudes (Figuras 2 e 3).

3) A distribuição e a ovipostura de *R. (B.) microplus* podem ser limitadas pela predação realizada por fungos, bactérias e outros invertebrados presentes no ambiente (Veríssimo, 2013). Além disso, são influenciadas pela competição com espécies indígenas de carrapatos, como por exemplo, na Tanzânia onde foi detectada a separação geográfica dessa espécie sendo regulada não somente pelo gradiente climático, mas também pela existência de *R. decoloratus* na mesma região (Lynen et al., 2008). Porém, *R. (B.) microplus* é invasivo em novas áreas geográficas às quais tem acesso e, devido as suas propriedades de deslocamento, juntamente com outros fatores climáticos, fisiológico e ecológicos; tem a capacidade de restringir ou deslocar áreas de estabelecimento de outras espécies indígenas pertencentes ao mesmo gênero, por exemplo, o que ocorre no Oeste africano com as espécies: *R. annulatus*, *R. geigy* e *R. decoloratus* (De Clercq et al., 2012).

4) Os cenários de mudanças climáticas, para 2050 e 2070, indicam grandes áreas de persistência das condições climáticas favoráveis a eclodibilidade dos ovos de *R. (B.) microplus*, o que pode favorecer a abundância das larvas infectantes e, conseqüentemente, as infestações sobre os hospedeiros (Figuras 2 e 3). Devido a essa espécie ser caracterizada como invasiva e de rápida e eficaz reprodução (Bennett, 1974; Gonzales et al., 1975), o uso inadequado de acaricidas em algumas regiões pode ser impulsionado, tendenciando as populações à resistência aos carrapaticidas (Foil et al., 2004). Esse tipo de resistência é uma tendência em todas as populações da espécie, o que está associado à expressão de mutações gênicas, produzindo alelos resistentes e dominantes dentro das populações (Foil et al., 2004; Guerrero et al., 2001), o que facilita o estabelecimento do carrapato em áreas invadíveis por ele.

5) Devido a sua capacidade de deslocamento, ocasionada pelos hospedeiros (0,5 km/geração de carrapatos considerando o gado e 0,8 km/geração de carrapato considerando cervídeos) (De Meeûs et al., 2010), suas populações podem alcançar outras áreas geográficas e estabelecer novas populações nesses ambientes, favoráveis climaticamente, a eclosão dos ovos (Barré and Uilenberg, 2010). O fato de *R. (B.) microplus* ser um carrapato que depende de seus hospedeiros para o movimento de maiores extensões geográficas, a relação de ectoparasitose beneficia essa espécie, pois ela utiliza os bovinos e hospedeiros silvestres (cervídeos): *Odocoileus virginianus* nos EUA (Pound et al., 2010), *Cervus timorensis russa* na Nova Caledônia (De Meeûs et al., 2010) e *Ozotoceros bezoarticus* no Brasil (Cançado et al., 2009) para acessar regiões próximas a população de origem ou em outros países e continentes (De Clercq et al., 2013). Essas circunstâncias são facilitadas pela convivência de rebanhos bovinos e hospedeiros silvestres, que podem compartilhar os mesmos habitats. Isso pode ocorrer devido a disponibilidade dos recursos alimentares em uma única área acessível a ambos animais ou, devido às práticas de manejo que para aumentar a produtividade substituem a vegetação natural, da qual os cervídeos dependem, por pastagens exóticas (Cançado et al., 2009).

Os resultados do nosso modelo, para o presente (Figuras 2 e 3), corroboram com verificações recentes de campo realizadas em Benin (Oeste africano) (De Clercq et al., 2012) (onde *R. (B.) microplus*, provavelmente, chegou a essa região por importação de gado brasileiro e movimentação dos rebanhos locais), em que as maiores abundâncias estavam localizadas na região central do país, em direção à costa sul e na região de fronteira com Togo. Nossas projeções, para os cenários futuros (Figuras 2 e 3), alertam que as mudanças climáticas beneficiarão a espécie,

as projeções mostraram que as categorias 2 e 3 terão acréscimo de áreas em esta mesma região de Benin, bem como nos países vizinhos: Togo e Gana, os quais já foram indicados em estudos prévios como áreas ambientalmente adequadas à invasão e estabelecimento das populações de *R. (B.) microplus* (De Clercq et al., 2013; Marques et al., em revisão).

## Conclusão

Nosso modelo indicou que as mudanças climáticas podem impactar e modificar as áreas para eclodibilidade de ovos de *R. (B.) microplus*, principalmente para os percentuais acima de 25% de eclosão. Contudo, estamos cientes de que neste estudo não consideramos alguns fatores importantes para a espécie: 1) a distribuição e abundância dos hospedeiros, indispensáveis para o deslocamento populacional e sucesso da prole. 2) a vegetação onde os ovos podem estar abrigados das fortes chuvas ou da dessecação e, que está fortemente associada ao desenvolvimento dos ovos. 3) fatores climáticos adicionais que podem delimitar a distribuição do carrapato. 4) as interações bióticas com outras espécies presentes no ambiente. 5) as ações antrópicas de manejo do ambiente e de alguns hospedeiros, as quais influenciam na modulação da distribuição dos adultos de *R. (B.) microplus*. Por outro lado, nosso modelo foi construído a partir de duas variáveis cenopoéticas básicas, que englobam muitas das características e limites fisiológicos da espécie (Hitchcock, 1955). Assim, este é um estudo inovador, que indicou como a temperatura média e a umidade relativa do ar atuam na modulação das regiões com condições ambientais favoráveis a eclodibilidade dos ovos do carrapato, além de ser

o início de uma série de trabalhos que terão o desafio de responder questões relacionadas sobre como as mudanças climáticas podem impactar as populações de *R. (B.) microplus*, considerando informações básicas de fisiologia da espécie.

Tabela 1. Quantidade de acréscimo de área (km<sup>2</sup>) e proporção de área (%) para eclosão de ovos de *R. (B.) microplus*, por categoria, frente as mudanças climáticas para os cenários RCPs 4.5 e 8.5 para os anos de 2050 e 2070, em todo o mundo.

Category	RCP 4.5 – 2050		RCP 8.5 – 2050		RCP 4.5 – 2070		RCP 8.5 – 2070	
	Area (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)						
1	16 659.95	0.29	39 814.92	0.69	28 498.31	0.50	65 330.4	1.12
2	594 369.70	11.00	677 921.12	12.75	689 111.76	12.77	746 156.39	14.15
3	912 303.36	20.51	1 055 221.02	23.51	918 917.75	20.23	1 204 730.42	27.07
4	1 326 846.83	26.13	1 342 518.16	27.14	1 214 335.88	24.16	1 435 540.92	29.70
5	994 568.35	28.32	1 142 260.56	32.44	1 002 731.68	27.90	1 360 050.85	38.68

Tabela 2. Valores de KIA para a concordância entre as áreas apropriadas para eclosão de ovos de *R. (B.) microplus*, por categoria, entre o presente e os cenários de mudanças climática RCPs 4.5 RCP 8.5 para 2050 e 2070.

Category	RCP 4.5 2050 KIA value	RCP 8.5 2050 KIA value	RCP 4.5 2070 KIA value	RCP 8.5 2070 KIA value
1	0.5214	0.6501	0.5716	0.7221
2	0.5836	0.6272	0.6175	0.6468
3	0.4685	0.5405	0.5268	0.5650
4	0.5301	0.5593	0.5389	0.5700
5	0.3294	0.3937	0.3653	0.4530

Figura 1. Percentual de eclosão de ovos (Hatch of eggs %) conforme a variação da temperatura média anual (Temperature °C) e a umidade relativa do ar (Relative humidity %) dado pelo GLM:  $\exp(-94.65671+0.32807*UR+4.86975*T-0.08615*T^2)/(1+\exp(-94.65671+0.32807*UR+4.86975*T-0.08615*T^2))$ , baseado em dados de Hitchcock (1955). As categorias estão representadas por cores: categoria 1: preto, categoria 2: vermelho, categoria 3: verde, categoria 4: azul escuro; categoria 5: azul claro.

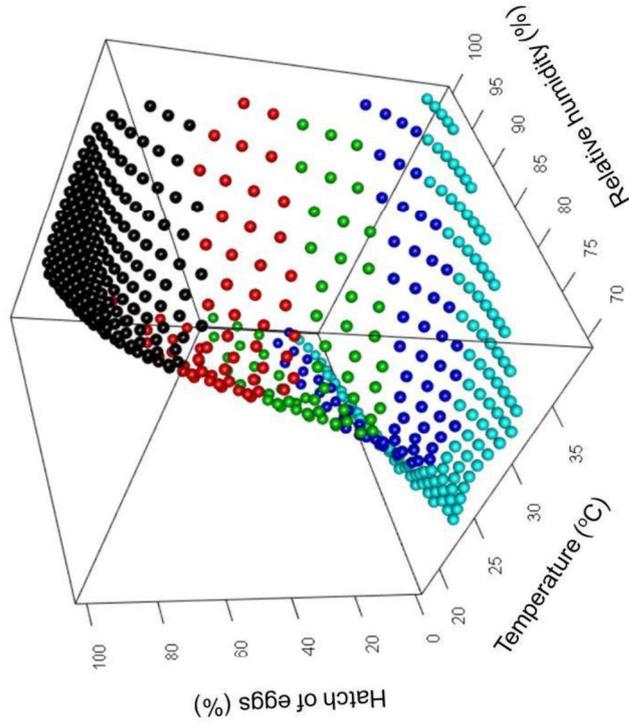


Figura 2. Áreas geográficas para o presente e cenários de mudança climática (RCP 4.5 e RCP 8.5) para 2050, por categoria de percentual de eclosão de ovos de *R. (B.) microplus*. "Increases": acréscimo de áreas para o futuro. "Persistence": áreas estáveis no presente e futuro.

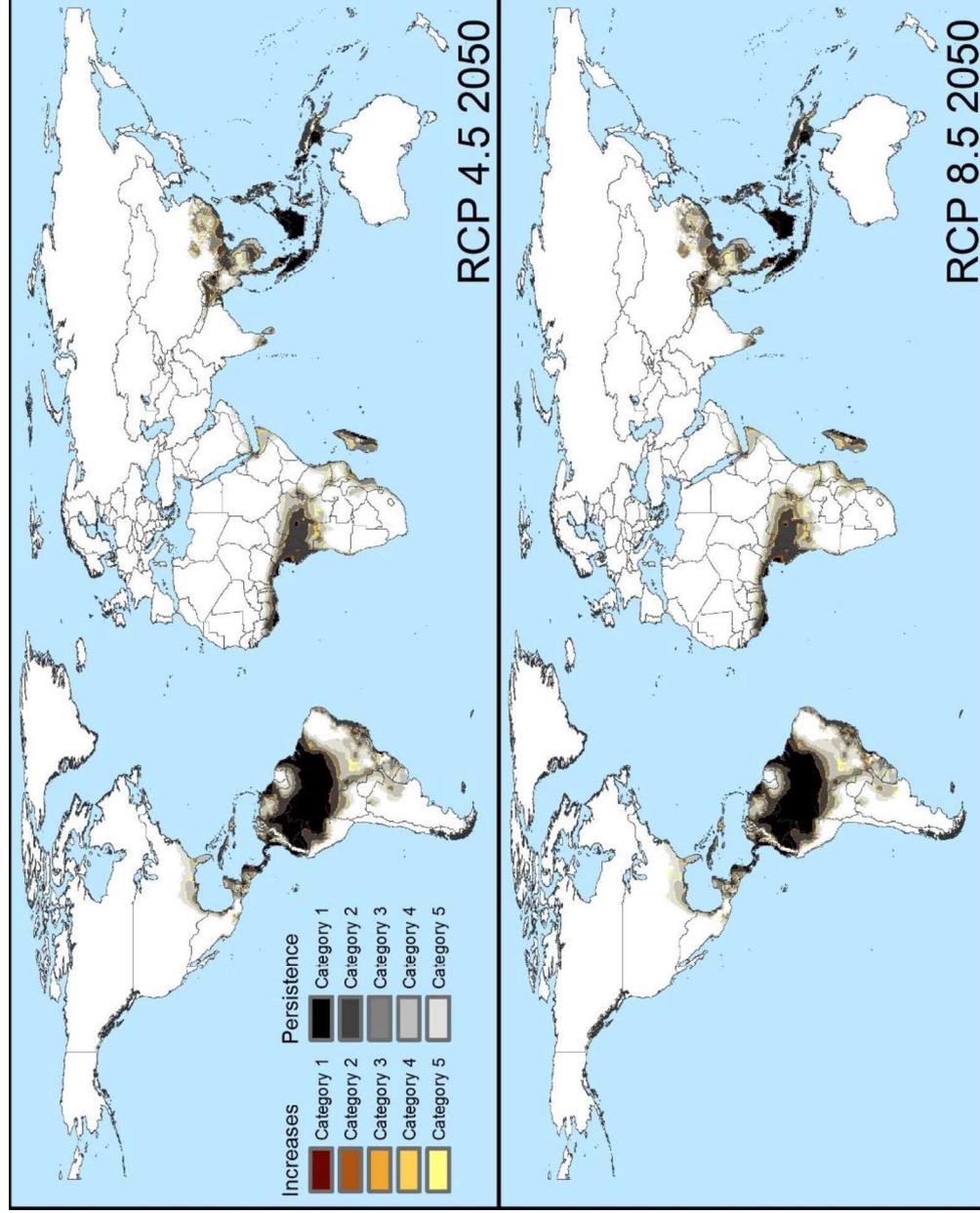
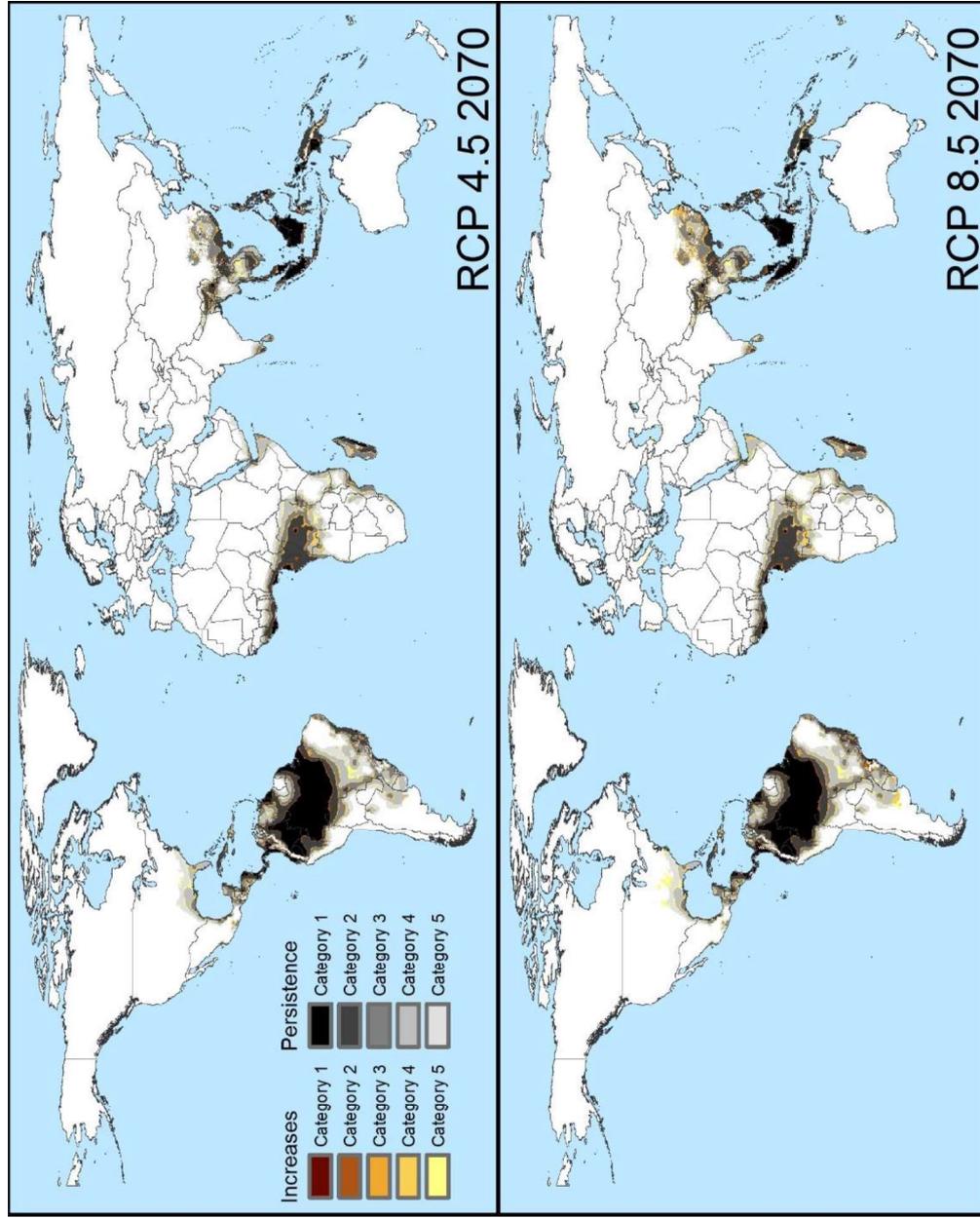


Figura 3. Áreas geográficas para o presente e cenários de mudança climática (RCP 4.5 e RCP 8.5) para 2070, por categoria de percentual de eclosão de ovos de *R. (B.) microplus*. "Increases": áreas estáveis no futuro. "Persistence": áreas estáveis no presente e futuro.



## Referências

- Barré, N., Uilenberg, G., 2010. Spread of parasites transported with their hosts: case study of two species of cattle tick. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz* 1, 149–160.
- Bennett, G.F., 1974. Oviposition of *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acarida: Ixodidae). I. Influence of tick size on egg production. *Acarologia* 16, 52–61.
- Burger, T.D., Shao, R., Barker, S.C., 2014. Phylogenetic analysis of mitochondrial genome sequences indicates that the cattle tick, *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*, contains a cryptic species. *Mol Phylogenet Evol* 76, 241–253. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.03.017>
- Cafrune, M.M., Aguirre, D.H., Mangold, A.J., Guglielmone, A.A., 1995. Experimental studies of the rate of infection of *Boophilus microplus* eggs with *Babesia bovis*. *Res Vet Sci* 58, 284–285. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(95\)90119-1](https://doi.org/10.1016/0034-5288(95)90119-1)
- Cançado, P.H.D., Zucco, C.A., Piranda, E.M., Faccini, J.L.H., Mourão, G.M., 2009. *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari: Ixodidae) as a parasite of pampas deer (*Ozotoceros bezoarticus*) and cattle in Brazil's Central Pantanal. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 18, 42–46. <https://doi.org/10.4322/rbpv.01801008>
- Chevillon, C., de Garine-Wichatitsky, M., Barré, N., Ducornez, S., de Meeûs, T., 2013. Understanding the genetic, demographical and/or ecological processes at play in invasions: lessons from the southern cattle tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Exp Appl Acarol* 59, 203–218. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9602-5>
- Copeman, D.B., 1978. Arthropod parasites. Beef cattle production in the tropics. Townsville: University of North Queensland 326–332.
- Da Rocha, C., 2003. Aspectos relevantes da biologia do *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887). *Boletim da Universidade Federal de Lavras* 5–24.
- de Castro, J.J., 1997. Sustainable tick and tickborne disease control in livestock improvement in developing countries. *Vet Parasitol* 71, 77–97. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00033-2)
- De Clercq, E.M., Estrada-Peña, A., Adehan, S., Madder, M., Vanwambeke, S.O., 2013. An update on distribution models for *Rhipicephalus microplus* in West Africa. *Geospat Health* 8, 301–308. <https://doi.org/10.4081/gh.2013.75>
- De Clercq, E.M., Vanwambeke, S.O., Sungirai, M., Adehan, S., Lokossou, R., Madder, M., 2012. Geographic distribution of the invasive cattle tick *Rhipicephalus microplus*, a country-wide survey in Benin. *Exp Appl Acarol* 58, 441–452. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9587-0>
- De la Vega, R., Díaz, G., 1986. Aplicacion de las constantes termicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). IV. Pronostico del inicio de la eclosion en condiciones de intemperie. *Revista de Salud Animal* 8, 337–345.
- De la Vega, R., Díaz, G., 1985a. Aplicacion de las constantes termicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). III. Simplificaciones del metodo de estimacion de los periodos de la fase no parasitaria. *Revista de Salud Animal* 7, 441–446.
- De la Vega, R., Díaz, G., 1985b. Aplicacion de las constantes termicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). II. Estimacion del inicio de la eclosion en condiciones naturales simuladas. *Revista de Salud Animal* 7, 307–316.
- De la Vega, R., Díaz, G., 1985c. Aplicacion de las constantes termicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). I. calculo de las constantes termicas. *Revista de Salud Animal* 7, 41–148.
- De Meeûs, T., Koffi, B.B., Barré, N., de Garine-Wichatitsky, M., Chevillon, C., 2010. Swift sympatric adaptation of a species of cattle tick to a new deer host in New Caledonia. *Infection, Genetics and Evolution* 10, 976–983. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2010.06.005>
- Dias Filho, F.D.C., Coelho Linhares, G.F., Duarte, S.C., Lima Linhares, D.C., 2007. Obtenção de isolados puros de *Babesia bovis* e *Babesia bigemina* a partir de larvas e ninfas de *Boophilus microplus* em bezerros neonatos privados de colostro. *Rev Patol Trop* 34, 197–204. <https://doi.org/10.5216/rpt.v34i3.1926>
- EMBRAPA, 2013. Saúde animal e impacto econômico são destaques no Simpósio Internacional sobre Controle de Carrapatos [WWW Document]. URL <https://www.embrapa.br/gado-de-corte/busca-de-noticias/-/noticia/1489479/saude-animal-e-impacto-economico-sao-destaques-no-simposio-internacional-sobre-controle-de-carrapatos> (accessed 9.2.19).
- Estrada-Peña, A., 1999. Geostatistics and remote sensing using NOAA-AVHRR satellite imagery as predictive tools in tick distribution and habitat suitability estimations for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in South America. *Vet Parasitol* 81, 73–82. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00238-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00238-6)

Estrada-Peña, A., Corson, M., Venzal, J.M., Mangold, A.J., Guglielmono, A., 2006. Changes in climate and habitat suitability for the cattle tick *Boophilus microplus* in its southern Neotropical distribution range. *J Vector Ecol* 31, 158–167. [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2006\)31\[158:CICAHS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2006)31[158:CICAHS]2.0.CO;2)

Evans, D.E., Martins, J.R., Guglielmono, A.A., 2000. A review of the ticks (Acari, Ixodida) of Brazil, their hosts and geographic distribution - 1. The State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 95, 453–470. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762000000400003>

Farias, N.A., Stobbe, N.S., Chistovão, M.L., Perri, S.H.V., Costa, A.J., 1995. Influência das condições climáticas da Região Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil, sobre os estágios não-parasitários do carrapato *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). *Rev Bras Parasitol Vet* 4, 67–77.

Foil, L.D., Coleman, P., Eisler, M., Fragoso-Sanchez, H., Garcia-Vazquez, Z., Guerrero, F.D., Jonsson, N.N., Langstaff, I.G., Li, A.Y., Machila, N., Miller, R.J., Morton, J., Pruett, J.H., Torr, S., 2004. Factors that influence the prevalence of acaricide resistance and tick-borne diseases. *Veterinary Parasitology, Diversity and Progress of Veterinary Parasitology Research in the 21st Century. A selection of presentations given during the 19th international conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology* 125, 163–181. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.05.012>

Fuente, J. de la, 2008. Overview: Ticks as vectors of pathogens that cause disease in humans and animals. *Front Biosci Volume*, 6938. <https://doi.org/10.2741/3200>

Garris, G.I., Popham, T.W., Zimmerman, R.H., 1990. *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae): oviposition, egg viability, and larval longevity in grass and wooded environments of Puerto Rico. *Environ Entomol* 19, 66–75. <https://doi.org/10.1093/ee/19.1.66>

Ghosh, S., Azhahianambi, P., de la Fuente, J., 2006. Control of ticks of ruminants, with special emphasis on livestock farming systems in India: present and future possibilities for integrated control—a review. *Exp Appl Acarol* 40, 49–66. <https://doi.org/10.1007/s10493-006-9022-5>

Gonzales, J.C., Silva, N. da, FRANCO, N., Pereira, I. de O., 1975. A vida livre do *Boophilus microplus* (CAN., 1887). *Arquivos da Faculdade de Veterinária da UFRGS* 3, 21–28.

Gonzales, J.C., Silva, N.R., Wagner, E.M., 1974. O ciclo parasitário do *Boophilus microplus* (Can., 1887) em bovinos estabulados. *Arq Fac Med Vet UFRGS* 2, 25–34.

Grisi, L., Leite, R.C., Martins, J.R. de S., Barros, A.T.M. de, Andreotti, R., Cançado, P.H.D., León, A.A.P. de, Pereira, J.B., Villela, H.S., 2014. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.* 23, 150–156. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612014042>

Guerrero, F.D., Davey, R.B., Miller, R.J., 2001. Use of an Allele-Specific Polymerase Chain Reaction Assay to Genotype Pyrethroid Resistant Strains of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *J Med Entomol* 38, 44–50. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.1.44>

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* 25, 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

Hitchcock, L.F., 1955. Studies on the non-parasitic stages of the cattle tick, *Boophilus microplus* (Canestrini)(Acarina: Ixodidae). *Australian Journal of Zoology* 3, 295–311.

Jones, E., Clifford, C., Keirans, J.E., Kohls, G., 1972. The ticks of Venezuela (Acarina: Ixodoidea) with a key to the species of *Amblyomma* in the Western Hemisphere.

Kivaria, F.M., 2006. Estimated direct economic costs associated with tick-borne diseases on cattle in Tanzania. *Trop Anim Health Prod* 38, 291–299. <https://doi.org/10.1007/s11250-006-4181-2>

Labruna, M.B., Naranjo, V., Mangold, A.J., Thompson, C., Estrada-Peña, A., Guglielmono, A.A., Jongejan, F., de la Fuente, J., 2009. Allopatric speciation in ticks: genetic and reproductive divergence between geographic strains of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *BMC Evol Biol* 9, 46. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-46>

Lindgren, E., Tälleklint, L., Polfeldt, T., 2000. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. *Environmental health perspectives* 108, 119–123.

Lynen, G., Zeman, P., Bakunane, C., Di Giulio, G., Mtui, P., Sanka, P., Jongejan, F., 2008. Shifts in the distributional ranges of *Boophilus* ticks in Tanzania: evidence that a parapatric boundary between *Boophilus microplus* and *B. decoloratus* follows climate gradients. *Exp Appl Acarol* 44, 147–164. <https://doi.org/10.1007/s10493-008-9134-1>

Matysiak, A., Dudko, P., Dudek, K., Dudek, M., Junkuszew, A., Tryjanowski, P., 2016. The occurrence of pathogens in *Rhipicephalus microplus* ticks from cattle in Madagascar. *Veterinárni medicína* 61 (2016), 516–523. <https://doi.org/10.17221/59/2016-VETMED>

McCosker, P.J., 1981. The global importance of babesiosis. *Babesiosis* 1–24.

Nari, A., 1995. Strategies for the control of one-host ticks and relationship with tick-borne diseases in South America. *Vet Parasitol* 57, 153–165. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(94\)03117-F](https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)03117-F)

Parola, P., Raoult, D., 2001. Ticks and tickborne bacterial diseases in humans: an emerging infectious threat. *Clin Infect Dis* 32, 897–928. <https://doi.org/10.1086/319347>

Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M.B., 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, Oxford.

Pound, J.M., George, J.E., Kammlah, D.M., Lohmeyer, K.H., Davey, R.B., 2010. Evidence for role of white-tailed deer (*Artiodactyla: Cervidae*) in epizootiology of cattle ticks and southern cattle ticks (*Acari: Ixodidae*) in reinfestations along the Texas/Mexico border in South Texas: a review and update. *J Econ Entomol* 103, 211–218. <https://doi.org/10.1603/EC09359>

Racelis, A.E., Davey, R.B., Goolsby, J.A., de León, A.A.P., Varner, K., Duhaime, R., 2012. Facilitative Ecological Interactions Between Invasive Species: *Arundo donax* Stands as Favorable Habitat for Cattle Ticks (*Acari: Ixodidae*) Along the U.S.–Mexico Border. *J Med Entomol* 49, 410–417. <https://doi.org/10.1603/ME11104>

Reisen, W.K., 2010. Landscape epidemiology of vector-borne diseases. *Annual review of entomology* 55, 461–483.

Rodríguez-Vivas, R.I., Grisi, L., Pérez de León, A.A., Villela, H., Torres-Acosta, J.F. de J., Fragoso, H.S., Salas, D.R., Cruz, R.R., Saldierna, F., Carrasco, D.G., 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. *Review. Rev Mex Cienc Pecu* 8, 61. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4305>

Saueressig, T.M., Honer, M.R., 1995. Adjustment of simulations of cattle tick (*Boophilus microplus*) populations and field observations in the Planalto region of Brasília (DF). *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 4, 9–13.

Saueressig, T.M., Honer, M.R., 1993. Dinâmica populacional do carrapato *Boophilus microplus* nos cerrados do Distrito Federal, análises e simulações. *Seminário Brasileiro de Parasitologia Veterinária* 8, A3.

Seifert, G.W., Springell, P.H., Tatchell, R.J., 1968. Radioactive studies on the feeding of larvae, nymphs, and adults of the cattle tick, *Boophilus microplus* (Canestrini). *Parasitology* 58, 415–430. <https://doi.org/10.1017/S0031182000069444>

Short, N.J., Floyd, R.B., Norval, R.A.I., Sutherst, R.W., 1989. Development rates, fecundity and survival of developmental stages of the ticks *Rhipicephalus appendiculatus*, *Boophilus decoloratus* and *B. microplus* under field conditions in Zimbabwe. *Exp Appl Acarol* 6, 123–141. <https://doi.org/10.1007/BF01201643>

Smith, R.D., 1984. Epidemiology of babesiosis, in: *Malaria and Babesiosis*. Springer, pp. 207–232.

Souza, A.P. de, Gonzales, J.C., Ramos, C.I., Paloschi, C.G., Moraes, A.N. de, 1988. Variação sazonal de *Boophilus microplus* no Planalto Catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 23, 627–630.

Süss, J., Klaus, C., Gerstengarbe, F., Werner, P.C., 2008. What makes ticks tick? climate change, ticks, and tick-borne diseases. *J Travel Med* 15, 39–45. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8305.2007.00176.x>

Sutherst, R.W., Maywald, G.F., Kerr, J.D., Stegeman, D.A., 1983. The effect of cattle tick (*Boophilus microplus*) on the growth of *Bos indicus* × *B. taurus* steers. *Australian Journal of Agricultural Research* 34, 317–327.

Tabachnick, W.J., 2010. Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease epistystems in a changing world. *Journal of Experimental Biology* 213, 946–954.

Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design [WWW Document]. *Bulletin of the American Meteorological Society*. URL <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-11-00094.1> (accessed 9.2.19).

Uilenberg, G., Hoogstraal, H., Klein, J.M., 1979. Ticks (Ixodoidea) of Madagascar and their vector role. *Archives of the Pasteur Institute of Madagascar, Special* 153.

Veríssimo, C.J., 2013. Controle biológico do carrapato do boi, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* no Brasil. *Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP* 11, 14–23. <https://doi.org/10.36440/recmvz.v11i1.5370>

Vetrivel, D., Pandian, A.S.S., Selvakumar, K.N., Shree, J.S., 2017. A study on the prevalence of babesiosis in north eastern agro-climatic zone of Tamil Nadu, India. *J Entomol Zool Stud* 5, 1271–1273.

Wang, H.-H., Corson, M.S., Grant, W.E., Teel, P.D., 2017. Quantitative models of *Rhipicephalus (Boophilus)* ticks: historical review and synthesis [WWW Document]. *Ecosphere*. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1942>

Wharton, R.H., Utech, K.B.W., 1970. The relation between engorgement and dropping of *Boophilus microplus* (Canestrini) (Ixodidae) to the assessment of tick numbers on cattle. *Australian Journal of Entomology* 9, 171–182. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1970.tb00788.x>

## 6. Considerações finais

As mudanças climáticas futuras, causadas em parte, pela ação antrópica podem impactar a distribuição de *Rhipicephalus (B.) microplus*, modificando áreas geográficas ambientalmente adequadas ao estabelecimento de novas populações desse carrapato, além de alterar os limites geográficos aptos ao desenvolvimento da fase de vida livre da espécie. O aumento dessas regiões geográficas pode refletir em maior probabilidade de transmissão de patógenos vetorizados pela espécie, como protozoários e bactérias que são dependentes dessa forma de transmissão.

A modelagem de distribuição potencial de *R. (B.) microplus* indicou o aumento de áreas para o futuro em todo o mundo e, as maiores proporções foram visualizadas para países com grandes produções de bovinos. A região Indo-malaia poderá ter 30% a mais de áreas ambientalmente adequadas ao desenvolvimento de novas populações do carrapato, para o ano de 2050 e para os dois cenários futuros (RCPs 4.5 e 8.5).

Além disso, este estudo mostrou que as mudanças climáticas têm o poder de modular e indicar novas áreas aptas à eclosão dos ovos de *R. (B.) microplus* no futuro, indicando que, principalmente, para 2070 e RCP 8.5 (maiores emissões de gases de efeito estufa) haverá o aumento em 15% de áreas no Brasil, América Central, Ásia e África; aptas à eclosão de mais de 50% do total de ovos disponíveis no ambiente.

As informações resultantes deste trabalho são relevantes e podem servir para guiar autoridades mundiais de sanidade animal, para criação e investimento em ações direcionadas ao controle populacional desse carrapato, em áreas de potencial risco de transmissão de patógenos, principalmente aqueles causadores da doença “tristeza parasitária”.

Ainda, ressaltamos que nossos resultados são provenientes de modelos limitados e, por isso, tratamos como potenciais novas áreas adequadas à espécie, já que não foi possível incluir outros fatores importantes que também estão associados à distribuição e ciclo de vida do carrapato.

## Referências

- ALKISHE, A. A.; PETERSON, A. T.; SAMY, A. M. Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus*. **PLoS ONE**, v. 12, n. 12, p:1-14, 2017.
- ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, v.162, n. 1, p. 211-232, 2003.
- ARAÚJO, M. B.; PEARSON, R. G. Equilibrium of species' distributions whit climate. **Ecography**, v. 28, n. 5, p. 693-695, 2005.
- BARVE, N.; BARVE, V.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LIRA-NORIEGA, A.; MAHER, S. P.; PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; VILLALOBOS, F. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. **Ecological Modelling**, v. 222, p:1810–1819, 2011.
- BECK, J.; BALLESTEROS-MEJIA, L.; BUCHMANN C. M.; DENGLER, J.; FRITZ, S. A., GRUBER, B.; HOF, C.; JANSEN F.; KNAPP, S.; KREFT, H.; SCHNEIDER A.; WINTER, M.; DORMANN, C. F. What's on the horizon for macroecology? **Ecography**, v. 35, n. 1, p. 001-011, 2012.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C. LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, n. 20 4, p. 1-13, 2012.
- BENNET, G. F. Oviposition of *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acarina: Ixodidae). II. Influence of temperature, humidity and light. **Acarologia** , v. 16, n. 2, p. 250-254, 1974
- BRITO, L.; NETTO, F. G. S.; OLIVEIRA, M. C. S.; BARBIERI, F. S. Bio-ecologia, importância médico-veterinária e controle de carrapatos, com ênfase no carrapato dos bovinos, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. **EMBRAPA**, doc: 104, Porto Velho, RO, 2006.
- BROWN, James Hemphill. **Macroecology**. Chicago, University of Chicago Press, 1995. 269p.
- BROWN, J. H.; MAURER B. A. Evolution of species assemblages: effects of energetic constraints and species dynamics on the diversification of North America Avifauna. **The America Naturalist**, Chicago v. 130, n. 1, p. 1-17, 1987.

BROWN, J. H.; MAURER B. A. Macroecology: the division of food and space among species on continents. *Science*, v. 243, n. 4895, p. 1145-1150, 1989.

BROWN, James H.; GILLOOLY, James F.; WEST, Geoffrey B.; SAVAGE, Van M. The next step in macroecology: from general empirical patterns to universal ecological laws. In: BLACKBURN, Tim M.; GASTON, Kevin J. **Macroecology Concepts and Consequences**. Birmingham, British Ecological Society, 2003. p. 408-423.

BURGER, T. D.; SHAO, R.; BARKER, S. C.; Phylogenetic analysis of mitochondrial genome sequences indicates that the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, contains a cryptic species. **Molecular Phylogenetic Evolution**, v. 76, p: 241–253, 2014.

CAFRUNE MM, AGUIRRE DH, MANGOLD AJ, GUGLIELMONE AA. Experimental studies of the rate of infection of *Boophilus microplus* eggs with *Babesia bovis*. **Research in Veterinary Science**, v.58, p: 284–285, 1995.

CAMPBELL, L. P.; LUTHER, C.; MOO-LLANES, D.; RAMSEY, J. M.; DANIS-LOZANO, R.; PETERSON, A. T. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. **Philosophical Transactions Royal Society B**, v. 370, n. 1, p. 1-9, 2015.

CARDEÑA, C. N. I.; RIVERÓN, A. Z.; PETERSON, A. T.; CORDERO, V. S.; RAMSEY, J. M. Phylogeny and niche conservatism in North and Central American triatomine bugs (Hemiptera: Reduvidae: Triatominae), vectors of Chagas' disease. **Plos Neglected Tropical Diseases**, v. 8, n. 10, p. 1-11, 2014.

CARLSON, C. J.; BURGIO, K. R.; DOUGHERTY, E. R.; PHILLIPS, A. J.; BUENO, V. M.; et al. Parasite biodiversity faces extinction and redistribution in a changing climate. **Science Advances**, v. 3, p. 1-12, 2017.

CARVALHO, B. M.; RANGEL, E. F.; READY, P. D.; VALE, M. M. Ecological niche modelling predicts southward expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vector of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* in South America, under climate change. **PLoS ONE**, v. 10, n. 11, p. 1-21, 2015.

CASTRO, J. J. Sustainable tick and tickborne disease control in livestock improvement in developing countries. **Veterinary Parasitology**, v. 71, n. 02-03, p. 77-97, 1997.

CECCARELLI S., BALSALOBRE A., SESEVICH M.L.; ECHEVERRIA, M. G.; GORLA, D. E.; MARTI, G. A. Modelling the potential geographic distribution of triatomines infected by *Triatoma* virus in the southern cone of South America. **Parasites & vectors**. v. 153, n,8, p.01-09, 2015.

CHEVILLON, C. et al. Understanding the genetic, demographical and/or ecological processes at play in invasions: lessons from the southern cattle tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Experimental and Applied Acarology**, v.59, p.203-218, 2013.

CHAVY, A. et al. Ecological niche modelling for predicting the risk of cutaneous leishmaniasis in the Neotropical moist forest biome. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v.13, n.8., 2019.

COBOS, M. E.; PETERSON, A. T.; BARVE, N.; OSORIO-OLVERA, L. kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. **PeerJ** 7, v 16, p:1-12, 2019.

COSTA, J.; DORNAK, L. L.; ALMEIDA, C. E.; PETERSON, A. T. Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions . **Parasites & Vectors**, v. 7, n. 238 p. 1-10, 2014.

CORRÊA, Rodrigo César. **Uso da modelagem ecológica de nichos como 6 ferramenta para o conhecimento da distribuição geográfica potencial de 7 Coleoptera de importância forense no Brasil**. 2014.101f. Tese (Doutorado em 8 Entomologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CRAMER, L. G.; CARVALHO, L. A.; BRIDI, A. A.; AMARAL, N. K.; BARRICK, R. A. Efficacy of topically applied ivermectin against *Boophilus microplus* (CANestrini, 1887) in cattle. **Veterinary Parasitology**, v. 29, n. 4, p. 341-349, 1988.

CRAW, Robin C. et al. **Panbiogeography: tracking the history of life**. 1.ed. New York: Oxford University Press, 1999. 238p.

CRKVENCIC, N.; SLAPETA, J. Climate change models predict southerly shift of the cat flea (*Ctenocephalides felis*) distribution in Australia. **Parasites & Vectors**, v.12, p: 1-13 ,2019.

CUMMING, G. S. Using habitat models to map diversity: pan-African species richness of ticks (Acari: Ixodida). **Journal of Biogeography**, v. 27, p:425–440, 2000.

CUMMING, G. S. Comparing climate and vegetation as limiting factors for species ranges of African ticks. **Ecology**, v. 83, p:255–268, 2002.

DANIEL M, DANIELOVAÂ V, KŘŔŔŔŔŔŔŔ B, KOTT I. An attempt to elucidate the increased incidence of tick-borne encephalitis and its spread to higher altitudes in the Czech Republic. **International Journal of Medical Microbiology Supplements**. V.293, 55-62, 2004.

DE LA VEGA, R., & G. DÍAZ. Aplicación de las constantes térmicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). I. cálculo de las constantes térmicas. **Revista de Salud Animal**, v. 7, p:141–148, 1985a.

DE LA VEGA, R., & G. DÍAZ. Aplicación de las constantes térmicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). II. Estimación del inicio de la eclosión en condiciones naturales simuladas. **Revista de Salud Animal**, v. 7, p:307–316, 1985b.

DE LA VEGA, R., & G. DÍAZ. Aplicación de las constantes térmicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). III. Simplificaciones del método de estimación de los períodos de la fase no parasitaria. **Revista de Salud Animal**, v. 7, p:441–446, 1985c

DE LA VEGA, R., & G. DÍAZ. Aplicación de las constantes térmicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). IV. Pronóstico del inicio de la eclosión en condiciones de intemperie. **Revista de Salud Animal**, v. 8, p:337–345, 1986.

DE LA VEGA, R., & G. DÍAZ. Aplicación de las constantes térmicas en el control de la garrapata del ganado vacuno (*Boophilus microplus*). V. Supervivencia larvaria en el laboratorio. **Revista de Salud Animal**, v. 9, p:259–265, 1987.

DECLERCQ, E. M.; ESTRADA-PEÑA, A.; ADEHAN, S.; MADDER, M.; VANWAMBEKE, S. O. An update on distribution for *Rhipicephalus microplus* in West Africa. **Geospatial Health**, v. 8, p. 301-308, 2013.

DECLERCQ, E. M.; LETA, S.; ESTRADA-PEÑA, A.; MADDER, M.; ADEHAN, S.; VANWAMBEKE, S. O. Species distribution modeling for *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) in Benin, West Africa: comparing datasets and modelling algorithms. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 118, p. 8-21, 2015.

DIAS FILHO FDC, COELHO LINHARES GF, DUARTE SC, LIMA LINHARES DC. Obtenção de isolados puros de *Babesia bovis* e *Babesia bigemina* a partir de larvas e ninfas de *Boophilus microplus* em bezerros neonatos privados de colostro. **Revista de Patologia Tropical**, v. 34, p:197–204, 2007.

DINALISIO, M. R.; PETERSON, A. T. Environmental factors affecting transmission risk for hantaviruses in forested portions of southern Brazil. **Acta Tropica**, v. 119, n. 1, p. 125-130, 2011

DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M. Geographical patterns in biodiversity: toward an integration of concepts and methods from genes to species diversity. **Brazilian Journal of Nature Conservation**. V. 9, p:179-187, 2011.

DINIZ-FILHO, José Alexandre Felizola; ARAÚJO, Miguel Bastos. Macroecologia e mudanças climáticas. In: **Biogeografia da América do Sul – Padrões & Processos**. 1.ed.São Paulo: Roca, 2011. p.151-161.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; CECCARELLI, S.; HASPERUÉ, W.; RABINOVICH, J. Geographical patterns of Triatominae (Heteroptera:Reduviidae) richness and

distribution in the Western Hemisphere. **Insect Conservation and Diversity**, v. 6, n. 36, p. 704-714, 2013.

DISTLER, T.; SCHUETZ, J. G.; VELÁSQUEZ-TIBATÁ, J.; LANGHAM, G. M. Stracked species distribution models and macroecological models provide congruent projections of avian species richness under climate change. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 5, p. 976-988, 2015.

ENEANYA, O. A.; FRONTERRE, C.; ANAGBOGUE, I.; OKORONKWO, C.; GARSKE, T.; CANO, J.; DONNELLY, C. A. Mapping the baseline prevalence of lymphatic filariasis across Nigeria. **Parasites & Vectors**, v.12, p:1-13, 2019.

ESCOBAR, L. E.; PETERSON, A. T.; Spatial epidemiology of bat-borne rabies in Colombia. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 32, n. 2, p. 135-136, 2013.

ESTRADA-PEÑA, A. Climate warming and changes in habitat suitability for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in Central America. **Journal of Parasitology**, v. 87, p:978–987, 2001.

ESTRADA-PEÑA, A.; SANCHEZ-ACEDO, C.; QUÍLEZ, J.; DEL CACHO, E. A retrospective study of climatic suitability for the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in the Americas. **Global Ecology and Biogeography**, v. 14, p:565–573, 2005.

ESTRADA-PEÑA, A.; BOUATTOUR, A.; CAMICAS, J. L.; GUGLIELMONE, A.; HORAK, I.; JONGEJAN, F.; LATIF, A.; PEGRAM, R.; WALKER, A. R. The known distribution and ecological preferences of the tick subgenus *Boophilus* (Acari: Ixodidae) in Africa and Latin America. **Experimental and Applied Acarology**, v.38, p.219-235, 2006a

ESTRADA-PEÑA, A.; CORSON, M.; VENZAL, J. M.; MANGOLD, A. J.; GUGLIELMONE, A. Changes in climate and habitat suitability for the cattle tick *Boophilus microplus* in its southern Neotropical distribution range. **Journal of Vector Ecology**, v. 31, n. 1, p: 158-167, 2006b.

ESTRADA-PEÑA, A.; VENZAL, J. M. High-resolution predictive mapping for *Boophilus annulatus* and *B. microplus* (Acari: ixodidae) in Mexico and Southern Texas. **Veterinary Parasitology**, v. 142, p:350– 358, 2006.

ESTRADA-PEÑA, A.; OSTFELD, R. S.; PETERSON, A. T.; POULIN, R.; FUENTE, J. Effects of environmental change on zoonotic disease risk: an ecological primer. **Trends in Parasitology**, v.30, n. 4, p.205-214, 2014.

EVANS, M. J. R. de.; GUGLIELMONE, A. A. A Review of the Ticks (Acari, Ixodidae) of Brazil, Their Hosts and Geographic Distribution – 1. The State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 95, n. 4, p. 453-470, 2000.

FARIAS, N. A.; STOBBE, N. S.; CHISTOVÃO, M. L.; PERRI, S. H. V.; COSTA, A. J. Influência das condições climáticas da Região Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil, sobre os estágios não-parasitários do carrapato *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 4, p: 67–77, 1995.

FERRO, C.; LÓPEZ, M; FUYA, P. LUGO, L.; CORDOVEZ, J. M.; GONZÁLEZ, C. Spatial distribution of sand fly vectors and eco-epidemiology of cutaneous leishmaniasis transmission in Colombia. **PLoS ONE**, v.10, n.10, p.01-16, 2015.

FONSECA, A. H.; PEREIRA, M. J. S.; GÓES, M. H. B.; SILVA, J. X. Distribuição espaço-temporal de *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) analisada por geoprocessamento no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 14, p:167–172, 2005.

GASTON, Kevin. J.; BLACKBURN, Tim. M. **Pattern and process in macroecology**. Oxford, Blackwell Science, 2000. 392 p.

GEORGE, J. E. Wildlife as a constraint to the eradication of *Boophilus spp.* (Acari: Ixodidae). **Journal of Agricultural Entomology**, v. 7, p: 119– 125, 1990.  
GILES, J. R.; PETERSON, A. T.; BUSCH, J. D.; OLAFSON, P. U.; SCOLES, G. A.; DAVEY, R. B.; POUND, J. M.; KAMMLAH, D. M.; LOHMEYER, K. H.; WAGNER, D. M. Invasive potential of cattle fever ticks in the southern United States. **Parasites and Vectors**, v. 7, n. 189, p. 1-11, 2014.

GONZALES, João Carlos. **O carrapato do boi: vida, Resistência e controle**. São Paulo: Mestre Jou, 1974. 101 p.

GONZALES, J. C.; SILVA, N. R.; WAGNER, E. M. O ciclo parasitário do *Boophilus microplus* em bovinos estabulados. **Arquivos da Faculdade Veterinária da UFRGS**. v. 2, p.25-34, 1975.

GONZÁLEZ, C.; TÉLLEZ, A. R.; BERNAL, S. I.; FAUSER, I. B.; MEYER, E. M.; PETERSON, A. T.; CORDERO, V. S. Current knowledge of Leishmania vectors in México: How geographic distributions of species relate to transmission areas. **The American Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 85, n. 5, p. 839-846, 2011.

GORTAZAR, C.; REPERANT, L. A.; KUIKEN, T.; FUENTE, J.; BOADELLA, M. et al. Crossing the interspecies barrier: opening the door to zoonotic pathogens. **Plos Pathogens**, v. 10, n. 6, p. 1-5, 2014.

GRAY, J. S. *Ixodes ricinus* seasonal activity: implications of global warming indicated by revisiting tick and weather data. **International Journal of Medical Microbiology**.V. 298, p. 19-24, 2008.

GRISI, L.; MASSARD, C. L.; BORJA, G. E. M.; PEREIRA, J. B. Impacto econômico das principais ectoparasitoses em bovinos no Brasil. **A Hora Veterinária**, v. 21, n. 125 p. 8-10, 2002.

GRISI, L.; LEITE, R.C.; MARTINS, J.R.S. et al. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. **Brazil Journal of Veterinary Parasitology**, v. 23, p. 150-156, 2014.

GUGLIELMONE, A. A.; GIORGI, R.; SODIRO, A.; GAY, R.; CANAL, A.; MANGOLD, A. J.; ESTRADA-PEÑA, A. E. Aptitud ecológica de los Departamentos Castellanos y Las Colonias, Santa Fe, para sustentar hipotéticas poblaciones de la garrapata común del vacuno, *Boophilus Microplus* (Acari: Ixodidae). **Revista Investigaciones Agronomicas**, v. 32, p:75–92, 2003.

GUGLIELMONE, A. A.; ROBBINS, G. R.; APANASKEVICH, A. D.; PETNAY, N. T.; ESTRADA-PEÑA, A.; HORAK, G. I.; SHAO, R.; BARKER, C. S. The Argasidae, Ixodidae and Nuttalliellidae (Acari: Ixodida) of the world: a list of valid species names. **Zootaxa**, v. 2528, p. 1-28, 2010.

GUISAN, A.; TINGLEY, R.; BAUMGARTNER, J. B.; NAUJOKAITIS-LEWIS, I.; SUTCLIFFE, P. R.; TULLOCH, A. I. T.; et al. Predicting species distributions for conservation decisions. **Ecology Letters**, v. 16, p. 1424-1435, 2013.

GURGEL-GONÇALVES, R.; GALVÃO, C.; COSTA, J.; PETERSON, A. T. Geographic distribution of chagas disease vectors in Brazil based on ecological niche modeling. **Journal of Tropical Medicine**, v. 2012, p. 1-15, 2012.

HAWKINS, B.A.; FIELD, R.; CORNELL, H.V.; CURRIE, D.J.; GUÉGAN, J.F.; KAUFMAN, D.M.; KERR, J.T.; MITTELBACH, G.G.; OBERDORFF, T.; O'BRIEN, E.M.; PORTER, E.E.; TURNER, J.R.G. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. **Ecological Society of America**, v. 84, n. 12, p. 3105-3117, 2003.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p:1965–1978, 2005.

HITCHCOCK, L. F. Studies of the non-parasitic stages on the cattle tick, *B. microplus*. **Australian Journal of Zoology**, v. 3, p:295-311, 1955.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 22, n.1, p. 415-427, 1957.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, IPCC: Climate Change 2007: **Impacts, Adaptation and Vulnerability-Working Group II Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report**. Brussels, April 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, IPCC: **Climate Change 2014:**

**Synthesis Report**, 2014. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>. Acessado em: 17 outubro 2017.

JENKINSON, L. S.; DAVIES, A. J.; WOOD, S.; SHORROCKS, B.; LAWTON, J. Not so simple: global warming and predictions of insect ranges and abundances – results from a model insect assemblage in replicated laboratory ecosystems **Aspects Applied Biology**, v. 45, p: 343- 34, 1996.

JONES, E. K.; CLIFFORD, C. M.; KEIRANS, J. E.; KOHLS, G. M. The ticks of Venezuela (Acarina: Ixodoidea) with a key to the species of *Amblyomma* in the Western Hemisphere. **Brigham Young University Science Bulletin-Biological Series**, 1-40, 1972.

KAUR, N.; PRASHER, P.; KUMAR, K.; DHINGRA, S. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Arachnida: Ixodidae) larvae infestation of human eyelids. A rare case. **Acarologia**, v. 59, p: 21-25, 2019.

KEARNEY, J. Food consumption trends and drivers. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. v. 1554, n. 365, p.2793-2807, 2010.

KERR, R. A. Global warming is changing the world. **Science**. v. 316, p.188-190, 2007.

KIVARIA, F.M. Estimated direct economic costs associated with tick-borne diseases on cattle in Tanzania. **Tropical Animal Health Production**, v. 38, p: 291–299, 2006.

KOVATS, R. S.; CAMPBELL-LENDRUM, D.H.; MCMICHAEL, A. J.; WOODWARD, A.; COX, J. S. Early effects of climatic changes: do they include changes in vector-borne disease?. **Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences**, v.356, n.1411, p. 1057-1068, 2001.

LABRUNA, M. B.; NARANJO, V.; MANGOLD, A. J.; THOMPSON, C; ESTRADA-PEÑA, A.; GUGLIELMONE, A. A.; JONGEJAN, F.; FUENTE, J. Allopatric speciation in ticks: genetic and reproductive divergence between geographic strains of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. **BMC Evolutionary Biology**, v. 9, n.46, p. 1-12, 2009.

LACERDA, Patrícia Oliveira. **Modelagem da distribuição geográfica atual e futura de *Guerlinguetus* (Rodentia, Sciuridae) no Brasil**. 2013.56f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

LETA, S.; BEYENE, T. J.; DE CLERCQ, E. M.; AMENU, K.; KRAEMER, M. U. G.; REVIE, C. Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. **International Journal of Infectious Disease**, v. 67, p.25-35, 2018.

LEVIN, S. The problem of pattern and scale in ecology. The Robert H. MacAlthur Award Lecture. **Ecological Society of America**, v. 73, n. 6, p. 1943-1967, 1992.

LINDGREN, E.; TÄLLEKLINT, L.; POLFELDT, T. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. **Environmental Health Perspectives**. v. 108, n. 2, p. 119-123, 2000.

LYNEN, G.; ZEMAN, P.; BAKUNAME, C.; DI GIULIO, G.; MTUI, P.; SANKA, P.; JONGEJAN, F. Shifts in the distributional ranges of *Boophilus* ticks in Tanzania: evidence that a parapatric boundary between *Boophilus microplus* and *B. decoloratus* follows climate gradients. **Experimental and Applied Acarology**, v. 44, p:147–164, 2008.

MARENGO, J.; SOARES, W. 2003: Impacto das modificações da mudança climática- Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6 In: **Clima e Recursos Hídricos**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, pp 209-233.

MARENGO, J. A. NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L., M.; OBREGON, G., O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil**. São Paulo: 33 INPE, 2011. 56p.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p.25-32, 2014.

MARQUES R.; ALVES D.M.C.C.; VICENZI N.; KROLOW, T. K.; KRÜGER, R.F. O aquecimento global irá alterar a distribuição geográfica de *Lepiselaga crassipes* (Diptera: Tabanidae), vetor de tripanossomíases em equinos, na região neotropical? **Oecologia Australis**, v.21, n.1, p.27-41, 2017.

MATYSIAK A, DUDKO P, DUDEK K, JUNKUSZEW A, TRYJANOWSKI P. The occurrence of pathogens in *Rhipicephalus microplus* ticks from cattles in Madagascar. **Veterinarni Medicina**, v.9, n 61, pag 516–523, 2016.

MCINTYRE, K. M.; SETZKORN, C.; HEPWORTH, P. J.; MORAND, S.; MORSE, A. P.; BAYLIS, M. Systematic assessment of the climate sensitivity of important human and domestic animals pathogens in Europe. **Nature**, v.7, n. 7134, p.1-10, 2017.

MCKOSKER, P.L. (1981) The global importance of Babesiosis. In **Babesiosis**. Ristic, M., J.P. Kreier, Academic Press. New York.

MCMICHAEL, A. J.; CAMPBELL-LENDRUM, D. H.; CORVALÁN, C. F.; EBI, K. L.; GITHEKO, A. K.; SCHERAGA, J. D.; WOODWARD, A. Climate change and human health – Risk and responses. **World Health Organization**, Geneva, 2003.

MINÁR, J.; HALGOS, J.; BARTALOVÁ, A.; JALILI, N. Current climatic change and its impact on mosquito fauna in conditions of Slovakia and Czech Republic. **Acta Zoologica Universitatis Comenianae**, v. 2, n. 47, p.177-182, 2007.

NARI, A. Strategies for the control of one-host ticks and relationship with tick-borne diseases in South America. **Veterinary Parasitology**, v. 57, n. 1, p. 153-165, 1995.

NAKAZAWA, Y.; WILLIAMS, R.; PETERSON, A. T.; MEAD, P.; STAPLES, E.; GAGE, K. L. Climate change effects on plague and tularemia in the United States. **Vector Borne and Zoonotic Diseases**, v. 7, n.4, p. 529-540, 2007.

OLIVEIRA, S. V.; ESCOBAR, L. E.; PETERSON, A. T.; GURGEL-GONÇALVES, R. Potential geographic distribution of Hantavirus reservoirs in Brazil. **Plos One**, v. 8, n.12, p. 1-8, 2013.

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, v. 12, p. 361-371, 2003.

PERKINS TA, SIRAJ AS, RUKTANONCHAI CW, KRAEMER MUG, TATEM AJ Model-based projections of Zika virus infections in childbearing women in the Americas. **Nature Microbiology**, v.1, p:1-8, 2016.

PETERSON, A. T. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. **The Condor**, v. 103, n. 3, p. 599-605, 2001.

PETERSON, A. T.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; BARTLEY, J.; CORDERO, V. S.; SOBERÓN, J.;BUDDEMEIER, R. H.; STROCKWELL, R. B. D. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, v. 416, n. 1, p. 626-26 629, 2002

PETERSON, A. T.; SHAW, J. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. **International Journal for Parasitology**, v. 33, n. 1, p. 919- 931, 2003.

PETERSON, A.T.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; NEVES, V. F. C. Using epidemiological survey data to infer geographic distributions of leishmaniasis vector species. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v. 37, n.1, p. 10-34 14, 2004.

PETERSON, A. T.; LASH, R. R.; CARROL, D. S.; JOHNSON, K. M. Geographic potential for outbreaks of Marburg hemorrhagic fever. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 75, n. 1, p. 9-15, 2006.

PETERSON, A. T. Shifting suitability for malaria vectors across Africa with warming climates. **BMC Infectious Diseases**, v. 59, n. 9, p. 1-6, 2009.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; ANDERSON, R. P.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAÚJO, M. B. Ecological Niches and Geographic Distributions. **Princeton University Press**, Oxford. 2011.

PETERSON, A. T.; MOSES, L. M.; BAUSH, D. G. Mapping transmission risk of lassa fever in West Africa: the importance in quality control, sampling bias, and error weighting. **Plos One**, v. 9, n. 8, p. 1-10, 2014.

PHILLIPS, P. L.; WELCH, J. B.; KRAMER, M. Development of a spatially targeted field sampling technique for the southern cattle tick, *Rhipicephalus microplus*, by mapping white tailed deer, *Odocoileus virginianus*, habitat in South Texas. **Journal of Insect Science** 14:88, 2014.

POPHAM, T. W., AND G. I. GARRIS. Considerations when modeling alternative eradication strategies for *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acari: Ixodidae) in Puerto Rico. **Journal of Agricultural Entomology**, v. 8, p:271–289, 1991.

POUND, J. M., GEORGE, J. E., KAMMLAH, D. M., LOHMEYER, K. H., & DAVEY, R. B. Evidence for role of white-tailed deer (Artiodactyla: Cervidae) in epizootiology of cattle ticks and southern cattle ticks (Acari: Ixodidae) in reinfestations along the Texas/Mexico border in South Texas: a review and update. **Journal of Economic Entomology**, v.103(2), p. 211–218, 2010.

PULIDO-HERRERA, L. A.; RUDAS, A. L.; BETANCOURT, J. A.; GRANTY, W. E.; VILCHEZ, S. J. Distribución inusual y potencial de la garrapata común del ganado, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, en zonas tropicales de alta montaña de los Andes colombianos. **Biota Colombiana**, v. 16, n. 2, p. 75-95, 2015.

REISEN, W. K.. Landscape epidemiology of vectorborne diseases. **Annual Review of Entomology**, v. 55, p:461–483, 2010.

REY, Luís. Artrópodes Parasitos ou Vetores de Doenças. In: REY, Luís. **Parasitologia**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2008. p. 689-790.

RODRÍGUEZ-VIVAS RI, GRISI L, PÉREZ DE LEÓN AA, VILLELA H, TORRES-ACOSTA JF DE J, FRAGOSO HS, SALAS DR, CRUZ RR, SALDIERNA F, CARRASCO DG. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. **Revista Mexicana Ciencias Pecuarias**, v. 8, p: 61-74, 2017.

ROCHA, C. M. B. M. **Aspectos relevantes da biologia do *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2003. 5-24 p.

SAMY, A. M.; CAMPBELL, L. P.; PETERSON, A. T. Leishmaniasis transmission: distribution and coarse-resolution ecology of two vectors and two parasites in Egypt. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v.47, n. 1, p. 57–62, 2014.

SANCHEZ, I; LIRIA, J.; FELICIANGELI, M. D. Ecological niche modeling of seventeen sandflies species (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) from Venezuela. **International Journal of Zoology**, v.2015, p.1-9, 2015.

SANCHIS, J.; CUORE, U.; GAYO, V.; SILVESTRE, D.; INVERNIZZI, F.; TRELLES, A.; SOLARI, M. A. Estudios sobre la ecología del *Boophilus microplus* en tres áreas del Uruguay. **XXXVI Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú, Uruguay**, 2008

SANTANA, Fabiana Soares. **Uma infraestrutura orientada a serviços para a modelagem de nicho ecológico**. 2009. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SAUERESSIG, T. M.; M. R. HONER. Dinâmica populacional do carrapato *Boophilus microplus* nos cerrados do Distrito Federal, análises e simulações. **Seminário Brasileiro de Parasitologia Veterinária**. 8: 1993.

SAUERESSIG, T. M., AND M. R. HONER. Adjustment of simulations of cattle tick (*Boophilus microplus*) populations and field observations in the Planalto region of Brasília (DF). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 4, p:9–13, 1995.

SEIFERT, G. W.; SPRINGELL, P. H.; TACHEL, I. R. J. Radioactive studies on the feeding of larvae, nymphs and adults of the cattle tick *Boophilus microplus* (Canestrini). **Parasitology**, v.58, p.415-430, 1968.

SITES, R. W.; WILLING, M. R.; LINIT, M. J. Macroecology of aquatic insects: a quantitative analysis os taxonomic richness and composition in the Andes Mountains 32 of Northern Ecuador. **Biotropica**, v. 35, n.2, p. 226-239, 2003.

SMITH, R. D. 1984. Epidemiology of babesiosis. Pages 207–232 in M. Ristic, P. Ambroise-Thomas, and J. P. Kreier, editors. **Malaria and babesiosis: research findings and control measures**. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, n. 1, p.1-10, 2005.

SOBERÓN, J.; NAKAMURA, M. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 38 106, n. 1, p.19644-19650, 2009.

SOBERÓN, J.; OSORIO-OLVERA, L.; PETERSON, A.T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos modelación de áreas de distribución. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v.88, n.2, p.437-441, 2017.

- SOUZA, A. P.; GONZALES, J. C.; RAMOS, C. I.; PALOSCHI, C. G.; MORAES, A. N. Variação sazonal de *Boophilus microplus* no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 6, p:627-630, 1988.
- SOUZA-SANTOS, R.; CARVALHO, M. S. Análise da distribuição espacial de larvas de *Aedes aegypti* na Ilha do Governador, Rio de Janeiro, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 16, n. 1, p.31-42, 2000.
- SÜSS, J.; KLAUS, C.; GESTENGARBE, F. W.; WERNER, P. C. What makes ticks tick? Climate change and Tick-borne diseases. **International Society of Travel Medicine**, v.15, n.1, p.39-45, 2008.
- SUTHERST, R. W. The dynamics of hybrid zones between tick (Acari) species. **International Journal for Parasitology**, v.17, p:921–926, 1987a
- SUTHERST, R.W. The role of models in tick control. Pages 32–37 in **International Conference on Veterinary Preventive Medicine and Animal Production**. **Australian Veterinary Journal**, Victoria, Australia. 1987b
- SUTHERST, R. W.; MAYWALD, G. F.; KERR, J. D.; SIEGEMAN, D. A. The effect of the cattle tick (*Boophilus microplus*) on the growth of *Bos indicus* X *Bos taurus* Steers. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 34, n. 1, p. 317-327, 1983.
- SUTHERST, R. W.; BOURNE, A. S. Modelling non-equilibrium distributions of invasive species: a tale of two modelling paradigms. **Biological Invasions**, v. 11, p:1231–1237, 2009.3
- TABACHNICK, W. J. Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease episystems in a changing world. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, p:946–954, 2010.
- TEEL, P. D.; MARÍN, S. L.; GRANT, W. E. Simulation of host-parasite-landscape interactions: influence of season and habitat on cattle fever tick (*Boophilus sp.*) population dynamics. **Ecological Modelling**, v. 84, p:19–30, 1996
- UILENBERG G, HOOGSTRAAL H, KLEIN JM (1979): Ticks (Ixodoidea) of Madagascar and their vector role (in French). **Archives of the Pasteur Institute of Madagascar**, 1–153.
- VAZ, D. S. Breves considerações sobre alterações climáticas, riscos ambientais e problemas de saúde. **Hygeia**, v. 10, n. 6, p. 60-66, 2010.
- VILLALOBOS, F.; DOBROVOLSKI, R.; PROVETE, D. B.; GOUVEIA, S. F. Is rich and rare the common share? Describing biodiversity patterns to inform conservation practices for South American anurans. **Plos One**, v. 8, n. 2, p. 1-6, 2013.

WANG, H. H.; CORSON, M. S.; GRANT, W. E.; TEEL, P. D. Quantitative models of Rhipicephalus (Boophilus) ticks: historical review and synthesis. **Ecosphere**, v. 8, n. 9, p. 1-27, 2017.

WHARTON, R. H.; UTECH, K. B. W.; TURNER, H. G. Resistance to the cattle tick, *Boophilus microplus*, in a herd of Australian Illawarra Shorthorn cattle: its assessment and heritability Resistance to the cattle tick, *Boophilus microplus*, in a herd of Australian Illawarra Shorthorn cattle: its assessment and heritability. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 21, n. 01, p. 163-181, 1970

ANEXOS

RESEARCH ARTICLE

Open Access



# Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

Roberta Marques<sup>1</sup> , Rodrigo F. Krüger<sup>1</sup>, A. Townsend Peterson<sup>2</sup>, Larissa F. de Melo<sup>1</sup>, Natália Vicenzi<sup>1</sup> and Daniel Jiménez-García<sup>3\*</sup> 

## Abstract

Climate change ranks among the most important issues globally, affecting geographic distributions of vectors and pathogens, and inducing losses in livestock production among many other damaging effects. We characterized the potential geographic distribution of the ticks *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, an important vector of babesiosis and anaplasmosis globally. We evaluated potential geographic shifts in suitability patterns for this species in two periods (2050 and 2070) and under two emissions scenarios (RCPs 4.5 and 8.5). Our results anticipate increases in suitability worldwide, particularly in the highest production areas for cattle. The Indo-Malayan region resulted in the highest cattle exposure under both climate change projections (2050), with increases in suitability of > 30%. This study illustrates how ecological niche modeling can be used to explore probable effects of climate change on disease vectors, and the possible consequences on economic dimensions.

## Introduction

*Rhipicephalus (Boophilus) microplus* is the most important tick in transmission of bovine parasitic diseases around the world [1]. The principal hosts for this species are cattle, but interactions have been shown with buffalo, horses, donkeys, dogs, deer, sheep, and goats [2–4]. High incidence of this tick is associated with economic losses, particularly in cattle [5]. This tick is responsible for transmission of the protozoa *Babesia bovis* and *B. bigemina*, and the bacterium *Anaplasma marginale*, which are the main pathogens of bovine babesiosis and anaplasmosis, respectively [6–8]. These diseases induce extreme emaciation in livestock, culminating in death.

Losses of US\$13–18 billion are caused by these pathogens globally each year [9, 10]. Developing countries have seen the strongest consequences caused by *R. microplus* (e.g. in South America; [5, 11]). Such countries generally lack effective control mechanisms for the tick, so that economic losses are exacerbated and livestock production is reduced markedly [12]. Estimates regarding milk losses caused by this tick species are 90.2 L per cow yearly; this reduction and losses in milk products generate production drops of around US\$922 million yearly [13]. Cattle at high risk regarding this tick are valued at US\$3 billion annually in Brazil alone [5], one of the most important developing countries in terms of livestock, responsible for exporting ~43 million tons of milk and meat [14].

Population growth and establishment are related to the following: (1) historical contingencies and geographic barriers [15]; (2) biological factors such as host

\*Correspondence: daniel.jimenez@corso.buap.mx

<sup>3</sup> Centro de Agroecología y Ambiente, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

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



© The Author(s) 2020. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. 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 in a credit line to the data.