

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E MODELAGEM ECOLÓGICA DAS INFECÇÕES DE TRYPANOSOMA (TRYPANOSOMATIDAE) EM ANUROS DA AMÉRICA DO SUL**GEOGRAPHIC DISTRIBUTION AND ECOLOGICAL MODELING OF TRYPANOSOMA (TRYPANOSOMATIDAE) INFECTIONS IN SOUTH AMERICAN FROGS****DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y MODELADO ECOLÓGICO DE INFECCIONES POR TRYPANOSOMA (TRYPANOSOMATIDAE) EN RANAS SUDAMERICANAS**

10.56238/revgeov16n5-291

Janaina Marques do Nascimento

Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
E-mail:janaina.marques@discente.ufma.br

José Gracione do Nascimento Sousa Filho

Doutorando m Biodiversidade e Biotecnologia
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
E-mail:jgns.filho@discente.ufma.br

Thalia Caldas da Silva

Mestranda em Ciência Animal
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
E-mail:thalia.cs@discente.ufma.br

Jivanildo Pinheiro Miranda

Professor Doutor
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
E-mail: jivanildo.miranda@ufma.br

Samuel Vieira Brito

Professor Doutor
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
E-mail: samuel.brito@ufma.br

Ivo Alexandre Leme da Cunha

Professor Doutor
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
E-mail: ivo.cunha@ufma.br

RESUMO

Os tripanossomatídeos do gênero *Trypanosoma* incluem espécies amplamente distribuídas em vertebrados, mas sua ocorrência em anuros neotropicais permanece pouco explorada. Neste estudo, realizamos uma revisão sistemática da literatura disponível sobre infecções por *Trypanosoma* em



anuros da América do Sul e compilamos registros georreferenciados para caracterizar sua distribuição conhecida. Além disso, empregamos modelagem de nicho ecológico (MaxEnt) para estimar áreas de adequabilidade climática favoráveis à ocorrência do parasita no continente. Nossos resultados evidenciam que os registros são concentrados majoritariamente no Brasil, envolvendo cerca de 30 espécies de anuros pertencentes a múltiplas famílias, enquanto grandes áreas da América do Sul permanecem sem amostragem. O modelo apresentou desempenho satisfatório (AUC = 0,75) e indicou que as regiões do Cerrado e zonas de transição com a Amazônia e o Pantanal apresentam maior probabilidade climática de ocorrência, influenciada principalmente pela temperatura média anual, precipitação anual e sazonalidade da precipitação. A sobreposição entre áreas altamente adequadas e pontos de ocorrência reforça o papel das variáveis climáticas como preditores da distribuição do parasita. Nossos resultados revelam uma diversidade ainda subestimada de *Trypanosoma* em anfíbios neotropicais e ressaltam a necessidade de ampliar os esforços de amostragem e de incorporar abordagens integradas para a caracterização taxonômica e ecológica desses parasitas.

Palavras-chave: Modelagem de Nicho Ecológico. MaxEnt. Parasitas de Anuros. Adequabilidade Climática.

ABSTRACT

Trypanosomatids of the genus *Trypanosoma* include species widely distributed in vertebrates, but their occurrence in neotropical anurans remains poorly explored. In this study, we conducted a systematic review of the available literature on *Trypanosoma* infections in anurans from South America and compiled georeferenced records to characterize their known distribution. Furthermore, we employed ecological niche modeling (MaxEnt) to estimate areas of climatic suitability favorable to the parasite's occurrence on the continent. Our results show that records are concentrated mainly in Brazil, involving approximately 30 anuran species belonging to multiple families, while large areas of South America remain unsampled. The model showed satisfactory performance (AUC = 0.75) and indicated that the Cerrado region and transition zones with the Amazon and Pantanal have a higher climatic probability of occurrence, mainly influenced by average annual temperature, annual precipitation, and precipitation seasonality. The overlap between highly suitable areas and occurrence points reinforces the role of climatic variables as predictors of the parasite's distribution. Our results reveal a still underestimated diversity of *Trypanosoma* in Neotropical amphibians and highlight the need to expand sampling efforts and incorporate integrated approaches for the taxonomic and ecological characterization of these parasites.

Keywords: Ecological Niche Modeling. MaxEnt. Anuran Parasites. Climatic Suitability.

RESUMEN

Los tripanosomátidos del género *Trypanosoma* incluyen especies ampliamente distribuidas en vertebrados, pero su presencia en anuros neotropicales aún es poco explorada. En este estudio, realizamos una revisión sistemática de la literatura disponible sobre infecciones por *Trypanosoma* en anuros de Sudamérica y recopilamos registros georreferenciados para caracterizar su distribución conocida. Además, empleamos el modelado de nicho ecológico (MaxEnt) para estimar áreas de aptitud climática favorables para la presencia del parásito en el continente. Nuestros resultados muestran que los registros se concentran principalmente en Brasil, abarcando alrededor de 30 especies de anuros pertenecientes a múltiples familias, mientras que extensas áreas de Sudamérica permanecen sin muestrear. El modelo mostró un rendimiento satisfactorio (AUC = 0,75) e indicó que las regiones del Cerrado y las zonas de transición con la Amazonia y el Pantanal presentan una mayor probabilidad climática de presencia, influenciada principalmente por la temperatura media anual, la precipitación anual y la estacionalidad de las precipitaciones. La superposición entre áreas de alta aptitud y puntos de presencia refuerza el papel de las variables climáticas como predictores de la distribución del parásito. Nuestros resultados revelan una diversidad aún subestimada de *Trypanosoma* en anfibios neotropicales y resaltan la necesidad de ampliar los esfuerzos de muestreo e incorporar enfoques integrados para la caracterización taxonómica y ecológica de estos parásitos.



Palabras clave: Modelado del Nicho Ecológico. MaxEnt. Parásitos Anuros. Idoneidad Climática.



1 INTRODUÇÃO

Os tripanossomas são hemoprotzoários pertencentes à família Trypanosomatidae, caracterizados pela presença de uma organela distintiva conhecida como cinetoplasto. A morfologia celular é variável e inclui formas flageladas que são tipicamente delgadas e alongadas, com um longo flagelo originando-se do blefaroplasto, enquanto as formas não flageladas tendem a ser arredondadas. Todos os membros da família Trypanosomatidae são parasitas obrigatórios (Clark, 1959; Lukeš et al., 2018). Dentro dos tripanossomatídeos, o gênero *Trypanosoma* é notável por compreender diversas espécies patogênicas para humanos, animais selvagens e animais domésticos. Exemplos proeminentes incluem os agentes da doença de Chagas, causada pelo *T. cruzi* na América do Sul e Central, e o *T. brucei*, patógeno causador da doença do sono africana (Lukeš et al., 2018). Os membros do gênero *Trypanosoma* são considerados de importância médica como parasitas relevantes em infecções zoonóticas (Kaufer et al., 2017).

Descrições morfológicas e identificações de *Trypanosoma* em anuros são comuns. Embora o impacto patológico de algumas dessas espécies parasitas permaneça pouco estudado (Ortiz-Baez et al., 2020), sua alta prevalência pode estar associada a efeitos negativos na condição corporal dos hospedeiros anfíbios, contribuindo potencialmente para declínios populacionais, baixa fertilidade e dificuldades na manutenção das populações (Mégia-Palma et al., 2024). Até o momento, mais de 150 espécies deste gênero foram descritas em vertebrados (Almeida, 2020), incluindo anfíbios (Tabela 2) (Honigberg, 1963; Woo e Bogart, 1984; Lemos et al., 2008; Leal et al., 2009; Ferreira et al., 2015; Bernal e Pinto, 2016; Rodrigues et al., 2019; Côelho et al., 2021; Pinho et al., 2021). Na América do Sul, há registros de *Trypanosoma* infectando uma diversidade de anuros (ver Lemos et al., 2008; Leal et al., 2009; Ferreira et al., 2015; Rodrigues et al., 2019; Côelho et al., 2021; Pinho et al., 2021).

Os anuros constituem um grupo diverso de vertebrados no Brasil, com 1.144 espécies, 107 gêneros e 20 famílias descritas até o momento (Segalla et al., 2021). Esses animais desempenham papéis ecologicamente significativos em uma ampla gama de habitats aquáticos e terrestres, exibindo diversas estratégias reprodutivas e ocupando várias posições tróficas, como predadores, presas e hospedeiros de múltiplos grupos de parasitas, incluindo metazoários, fungos e bactérias (Whiles et al., 2006; Haddad et al., 2008; Santos et al., 2018). Além disso, os anuros são considerados importantes bioindicadores da qualidade ambiental devido às suas exigências comportamentais e fisiológicas, particularmente sua dependência de corpos d'água e ambientes úmidos durante os períodos reprodutivos (Hyne et al., 2009). Os anuros também estão entre os grupos de vertebrados mais ameaçados (Stuart et al., 2004), em grande parte devido à sua acentuada sensibilidade aos impactos antropogênicos (Silvano e Segalla, 2005). A perda de habitat, a poluição e as mudanças climáticas, combinadas com processos infecciosos e doenças relacionadas a parasitas, contribuíram substancialmente para o declínio populacional severo (Beebee e Griffiths, 2005).



A compreensão dos fatores que moldam a distribuição das espécies, é um grande desafio, visto que estas são complexas, envolvendo a interação de diversos fatores para determinar o limite do alcance de uma espécie (Holt 2003; Holt e Keitt 2005). A modelagem de nicho ecológico (adequabilidade de habitat) determina áreas adequadas para a ocorrência de espécies (Phillips e Elith 2010), usando variáveis abióticas e/ou bióticas para modelar distribuições potenciais de espécies com base em áreas conhecidas de ocorrência (Peterson 2001; Peterson et al., 2002). Para esse propósito, inicialmente são necessários pontos georreferenciados de ocorrência conhecida da espécie em questão, que serão relacionados com as variáveis de cada localidade; posteriormente, um algoritmo usa essas informações para indicar a probabilidade de que a espécie seja encontrada em qualquer ponto ao longo de cada eixo variável, a informação é então combinada para todos os eixos variáveis para gerar um envelope de nicho no qual se prevê que exista condições adequadas para a ocorrência da espécie (Costa e Schlupp, 2010).

Dessa forma, realizamos uma modelagem de distribuição potencial para *Trypanosoma* de anuros na América do Sul, conduzimos nossa análise com base em uma revisão da literatura sobre as espécies de tripanossomas que infectam anuros neotropicais, com o objetivo de mapear os principais pontos de ocorrência e as áreas que merecem mais atenção para a ocorrência desses parasitos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A América do Sul situa-se aproximadamente entre 12° N e 55° S, com uma área de aproximadamente 17 840 000 km² o que equivale a cerca de 12% da área total do planeta, esta região engloba uma grande diversidade de ecossistemas tanto de baixa e média latitudes, o que ocasiona uma rica diversidade geográfica e biológica, assim como diversidade climática. O continente abriga ambientes extremamente contrastantes, como o deserto do Atacama, que é considerado como uma das áreas mais áridas do mundo e a floresta Amazônica, que considerada a maior floresta tropical do planeta (Reboita et al., 2010; Garreaud et al., 2009).

Atualmente, o continente sul-americano compreende 13 nações: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Guiana Francesa, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela, que possuem uma população estimada em 388 000 000 de habitantes (FAO, 2011).

2.1.1 Obtenção das coordenadas geográficas de tripanossomatídeos infectando anuros na América do Sul

O conhecimento atual sobre a ocorrência de tripanossomatídeos em anuros foi resumido para a América do Sul. Para isso, realizamos um levantamento bibliográfico nas principais plataformas de dados: SciELO, Web of Science e Google Scholar, utilizando os termos e combinações: registros de



Trypanosoma sp. em anuros da América do Sul; ocorrência de tripanossomas em anuros da região Sul Americana; detecção morfológica/molecular de tripanossomatídeos em anuros da América do Sul. Todos os artigos disponíveis que relatam ocorrências de *Trypanosoma* infectando anuros na região Sul Americana foram compilados nessa revisão.

As coordenadas geográficas foram extraídas de todos os estudos que identificaram a ocorrência morfológica e/ou molecular de *Trypanosoma* infectando anuros na América do Sul, e quando indisponíveis nestes estudos, as coordenadas foram definidas com base nas descrições dos locais de estudo usando o programa Google Earth (<http://earth.google.com/>, 2009). Todos os pontos de ocorrência forammeticulosamente revisados, verificados e organizados em uma planilha do Microsoft Excel e, em seguida, importados para o software R (R Core Team 2020), para a plotagem dos pontos e mapeamento das áreas de ocorrência.

2.1.2 Obtenção das variáveis bioclimáticas e análise de modelagem de nicho ecológico

As variáveis bioclimáticas foram extraídas do projeto WorldClim (Hijmans et al., 2005), disponíveis para download em <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>, e baixadas no software R, por meio do comando “getData”, utilizando a resolução das variáveis de 2,5 minutos (aproximadamente 5km²). O teste de correlação de Pearson foi utilizado com a finalidade de observar quais as variáveis eram colineares e aquelas com coeficiente de colinearidade ≥ 0.70 foram excluídas da análise. Três variáveis bioclimáticas foram selecionadas (as que obtiveram coeficiente de colinearidade ≥ 0.70), foram elas Bio 1 (Temperatura média anual), Bio 12 (Precipitação anual) e Bio 15 (Sazonalidade da Precipitação (Coeficiente de Variação)).

Para realizar a modelagem de nicho ecológico, utilizamos o software MaxEnt (versão 3.4.3) para construir o modelo de distribuição de espécies de *Trypanosoma* infectando anuros na América do Sul. Usamos o software R Core Team (2020), compilado e executado com MaxEnt (Phillips et al., 2006) através do Dismo (Hijmans et al., 2017), um pacote destinado a realizar a modelagem de distribuição de espécies.

Para realizar a análise da distribuição geográfica potencial de *Trypanosoma* infectando anuros da América do Sul, 75% dos pontos de ocorrência foram selecionados para preparar o modelo e 25% foram usados para testar a precisão do modelo (Phillips, 2008). O teste Jackknife foi realizado para determinar a importância das variáveis. Utilizamos a área sob a curva AUC, para avaliar o desempenho do modelo. O valor de AUC varia de 0 a 1, sendo que quando esse valor é até 0,5 indica que o modelo não apresentou melhor desempenho do que um modelo aleatório, enquanto que valores maiores indicam melhores previsões (Costa e Schlupp, 2010).

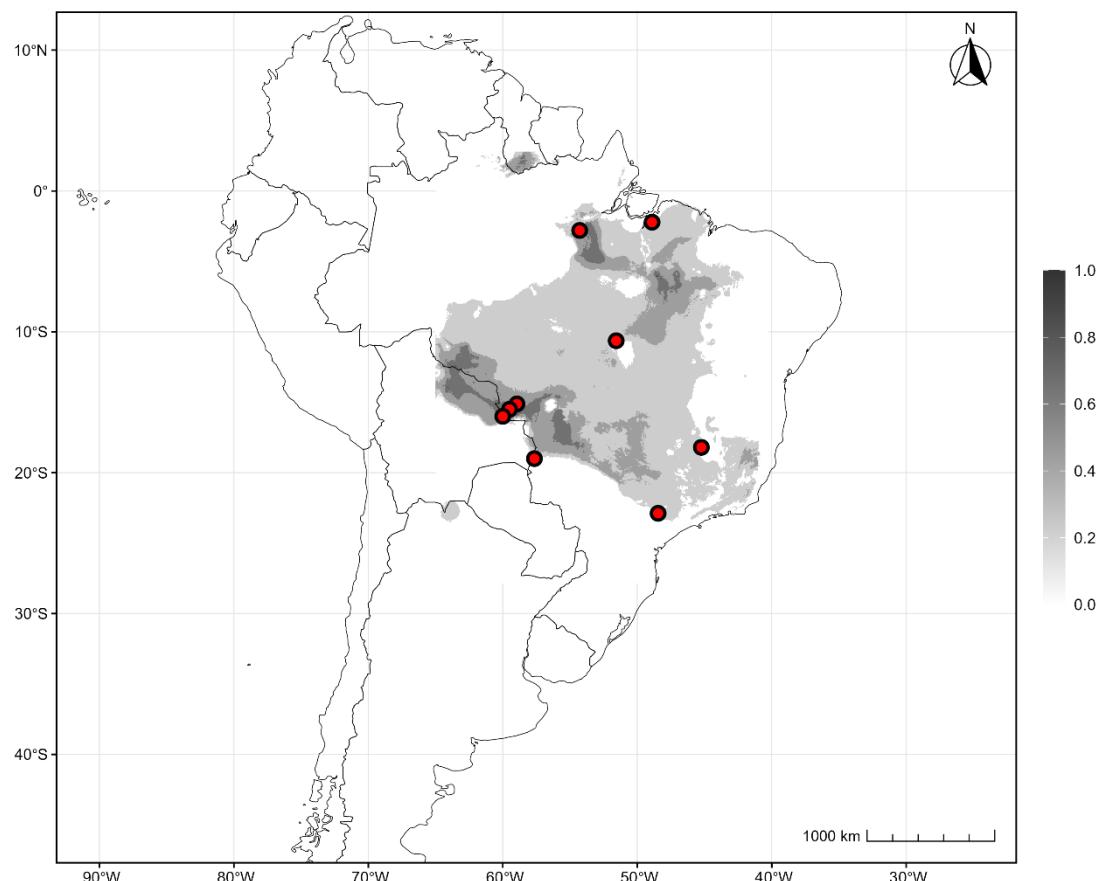


3 RESULTADOS

3.1 DISTRIBUIÇÃO DE TRIPANOSOMA INFECTANDO ANUROS NA AMÉRICA DO SUL

O levantamento bibliográfico sobre os registros de ocorrência de espécies de *Trypanosoma* em anuros da América do Sul (Figura 1; Tabela 1) mostrou que as confirmações dos registros, até o momento se encontram no Brasil com ocorrências em diferentes estados como Minas Gerais, Mato Grosso, Pará e São Paulo. As diferentes espécies de *Trypanosoma* relatadas incluem: *T. rotatorium*, *T. chattoni* e outras indeterminadas (registradas como *Trypanosoma* sp.), em quase 30 espécies de anuros representando os gêneros *Leptodactylus*, *Rhinella*, *Boana*, *Dendropsophus*, *Phyllomedusa*, *Pithecopus*, *Osteocephalus*, *Physalaemus*, *Scinax* e *Trachycephalus*. A revisão da literatura sobre registros de infecção por espécies de tripanossomas em anuros na América do Sul mostra que não há amostras na maior parte da região e os estudos existentes estão concentrados no Brasil; consequentemente, a diversidade de espécies de *Trypanosoma* em anuros pode ser considerada subamostrada.

Figura 1. Pontos de ocorrência e distribuição potencial de adequabilidade climática para a ocorrência de *Trypanosoma* associado a anuros na América do Sul. O gradiente em tons de cinza representa o envelope climático favorável à presença do parasita, variando de baixa (claro) a alta adequabilidade (escuro). Os pontos vermelhos indicam registros confirmados de infecção em anuros, demonstrando que a maioria das ocorrências coincide com áreas de maior adequação ambiental, especialmente no Cerrado e regiões de transição com a Amazônia e o Pantanal.



Fonte: Autores.

Tabela 1: Locais de amostragem de espécies de tripanossomas parasitas de anuros na região Neotropical

País/estado	Coordenadas	Trypanosomatidae	Hospedeiro	Fonte
Brasil, MG	18°12'21"S, 45°14'31"O	<i>Trypanosoma</i> sp.	<i>Leptodactylus fuscus</i> <i>Leptodactylus latrans</i> <i>Rhinella schneideri</i>	Ferreira et al., 2015
Brasil, MT	10°38'38"S, 51°34'08"O		<i>Pristimantis</i> sp.	
Brasil, MT	15°07'32"S, 58°57'16"O	<i>T. rotatorium</i> <i>T. chattoni</i>	<i>Leptodactylus chaquensis</i> <i>Leptodactylus fuscus</i>	Lemos et al., 2008
Brasil, PA	2°48'00"S, 54°17'66"O	<i>Trypanosoma</i> sp.	<i>Rhinella major</i>	Coelho et al., 2021
Brasil, PA	02°13'00"S, 48°54'00"O	<i>Trypanosoma</i> sp.	<i>Boana geographica</i> <i>Boana multifasciata</i> <i>Dendropsophus minutus</i> <i>Leptodactylus fuscus</i> <i>Leptodactylus pentadactylus</i> <i>Osteocephalus oophagus</i> <i>Phyllomedusa bicolor</i> <i>Pithecopus hypochondrialis</i> <i>Rhinella gr. Margaritifera</i> <i>Rhinella mirandaribeiroi</i> <i>Trachycephalus typhonius</i> <i>Boana multifasciata</i> <i>Leptodactylus macrosternum</i> <i>Leptodactylus mystaceus</i> <i>Leptodactylus paraenses</i> <i>Physalaemus ephippiger</i> <i>Rhinella marina</i> <i>Rhinella mirandaribeiroi</i> <i>Scinax gr. Ruber</i> <i>Trachycephalus typhonius</i>	Pinho et al., 2021
Brasil, MT	15°07'32"S, 58°57'16"O	<i>Trypanosoma</i> sp.	<i>Osteocephalus</i> sp. <i>Leptodactylus lineatus</i>	Rodrigues et al., 2019
Brasil, SP	22°53'25"S, 48°27'19"O	<i>Trypanosoma</i> sp.	<i>Dendropsophus minutus</i> <i>Hypsiboas albopunctatus</i> <i>Trachicephalus venulosus</i> <i>Phyllomedusa hypocondrialis</i> <i>Leptodactylus chaquensis</i> <i>Leptodactylus labyrinthicus</i> <i>Leptodactylus podicipinus</i> <i>Dendropsophus minutus</i>	Leal et al., 2009
Brasil, MT	19°00'17"S, 57°39'02"O	<i>Trypanosoma</i> sp.	<i>Phyllomedusa hypocondrialis</i> <i>Leptodactylus chaquensis</i> <i>Leptodactylus labyrinthicus</i> <i>Leptodactylus podicipinus</i>	Leal et al., 2009

Fonte: Autores.

3.2 AVALIAÇÃO DO MODELO E CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS ECOLÓGICAS

O modelo produzido foi significativo com base na análise do valor AUC (AUC = 0,75). A temperatura média anual (média de 25,9° C), precipitação anual (média de 1,525 mm/ano), e a sazonalidade da precipitação (média de 7.2%) foram as variáveis que mais contribuíram para o modelo.

A distribuição potencial modelada para *Trypanosoma* associado a anuros (Figura 1) indica que as maiores áreas de adequabilidade climática se concentram no Cerrado e em regiões de transição com a Amazônia e o Pantanal, refletindo condições ambientais favoráveis à manutenção do parasita e de seus prováveis vetores. Os registros confirmados de infecção coincidem majoritariamente com essas



zonas de maior adequação, reforçando a coerência ecológica do modelo e sugerindo que o clima é um importante determinante da ocorrência da espécie.

As áreas favoráveis a ocorrência de *Trypanosoma* em anuros são caracterizadas por climas tropicais e subtropicais do Brasil, com temperaturas elevadas ao longo do ano e precipitação abundante com moderada sazonalidade. Estas condições são compatíveis com a distribuição dos anuros hospedeiros, que requerem ambientes úmidos para reprodução e desenvolvimento larval.

4 DISCUSSÃO

Trypanosoma (Trypanosomatidae) é um protozoário parasita comum de animais que vivem em regiões tropicais e equatoriais do mundo. Muitos táxons parasitam mamíferos e humanos, mas os *Trypanosoma* encontrados em ectotérmicos, como anfíbios e répteis, são amplamente negligenciados (Spodareva et al., 2018). Essa lacuna de informação tem limitado uma compreensão abrangente sobre a evolução e a prevalência de tripanossomatídeos (Tabela 1), como, por exemplo, a frequência com que seu agente infeccioso ocorre em uma população em um dado momento entre espécies suscetíveis, tanto endotérmicas quanto ectotérmicas.

Por exemplo, os anuros compartilham ecossistemas com mamíferos e répteis, e todos estes mantêm contato direto com diferentes ou semelhantes vetores de insetos. Assim, todos são espécies hospedeiras essenciais para a detecção e compreensão da diversidade de *Trypanosoma* em regiões tropicais como savanas, florestas decíduas, pântanos, entre outras. Além disso, é válido considerar a saúde humana e animal de forma integrada, uma vez que diversos patógenos que infectam humanos são derivados de outras espécies animais (Ellwangen et al., 2021), caracterizando o processo de transmissão interespecífica de patógenos de animais selvagens para humanos, especificamente conhecido como "transbordamento" (Wells e Clark, 2019). Da mesma forma, parasitas humanos também podem infectar a vida selvagem, por meio de contato direto entre espécies ou mediado por vetores, conhecido como "retorno" (Olival et al., 2020).

A compreensão da influência das variáveis ambientais na ocorrência e distribuição de espécies parasitas é fundamental para o monitoramento desses patógenos, assim como para mapear áreas que tendem a apresentar casos de infecções e identificar oportunidades para mitigar os impactos do surgimento de doenças ocasionadas por esses organismos. Dessa forma, as análises de modelagem de distribuição geográfica de espécies parasitas, como o modelo de entropia máxima (MaxEnt), requer apenas a presença (não ausência) de registros de espécies e tem mostrado um bom desempenho (Elith et al., 2006), e servem de abordagem para o planejamento de medidas de conservação e estratégias de controle (Abdelaal et al., 2019; Fois et al., 2018).

Nosso levantamento bibliográfico aponta que *Trypanosoma* spp. foram identificados em diversas espécies de anuros (Tabela 1), distribuídas na região da América do Sul (Figura 1). Para



anuros, Ferreira et al., (2015) conseguiram identificar a presença desse protozoário parasita em *Leptodactylus fuscus*, *L. latrans*, *Rhinella schneideri* e *Pristimantis* sp. nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. De forma semelhante, Coêlho et al., (2021) relataram a presença de *Trypanosoma* sp. em *R. major* e Pinho et al., (2021), em diversos outros anuros, como *Boana geographica*, *Leptodactylus pentadactylus*, *Phyllomedusa bicolor* e *Pithecopus hypochondrialis* na região Norte do Brasil. Leal et al., (2009) também relataram a ocorrência de *Trypanosoma* sp. em *Trachicephalus venulosus*, *Dendropsophus minutus* e *Hypsiboas albopunctatus* e em outras espécies de rãs nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Além disso, *T. rotatotium* e *T. chattoni* foram identificados em *Leptodactylus chaquensis* e *L. fuscus*, respectivamente, na região Centro-Oeste do Brasil (Lemos et al., 2008). Todos esses estudos sugerem uma alta incidência (novos casos ao longo do tempo) e prevalência (total de casos em um momento específico) de *Trypanosoma* em Hylidae (*Boana*, *Phyllomedusa*, *Pithecopus*, *Trachicephalus*, *Dendropsophus* e *Hypsiboas*), Leptodatylidae (Leiuperinae: *Engystomops* e Leptodactylinae: *Leptodactylus*) e Bufonidae (*Rhinella*).

Embora a maioria dos registros desses parasitas em anuros tropicais seja identificada apenas em nível de gênero (Tabela 1), vale destacar a presença de *Trypanosoma* sp. infectando espécies de anuros distribuídas em diferentes tipos de habitats ecológicos com diferentes estratégias de uso do habitat, como: arborícolas, *P. bicolor* e *Scinax gr. Ruber* (Pinho et al., 2021); terrestres, *R. schneideri* (Ferreira et al., 2015), *R. major* (Coêlho et al., 2021) e *R. marina* (Pinho et al., 2021); e semi-aquáticos, como *L. lineatus* (Rodrigues et al., 2019), *B. multifasciata* e *D. minutus* (Pinho et al., 2021; Leal et al., 2009). Dessa forma, os anuros podem formar um grupo de hospedeiros utilizados por muitas espécies de *Trypanosoma*, servindo assim como reservatórios naturais para esses parasitas. Apesar de sua importância, espécies de *Trypanosoma* encontrado em anuros é um grupo pouco estudado, com apenas 9 localidades geográficas na região Sul Americana e com poucas amostras identificadas a nível de espécie, o que sugere uma biodiversidade oculta desses e de outros parasitas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo sintetiza a distribuição conhecida e a projeção da adequabilidade climática para espécies de *Trypanosoma* que infectam anuros na América do Sul. Com base em nossos resultados evidenciamos que o conhecimento atual sobre a ocorrência desses parasitas é fortemente concentrado no Brasil e marcado por significativa subamostragem em grande parte do continente, o que limita avaliações mais abrangentes sobre sua diversidade, distribuição e potencial impacto ecológico. A modelagem de nicho ecológico indicou que as regiões com maior adequabilidade climática (especialmente o Cerrado e zonas de transição com a Amazônia e o Pantanal), coincidem com a maioria dos registros confirmados, sugerindo que condições ambientais relacionadas à temperatura, precipitação e sazonalidade são determinantes para a manutenção do parasita e de seus vetores.



Nossos resultados reforçam que os anuros desempenham papel relevante como hospedeiros de *Trypanosoma*, abrigando infecções em diferentes famílias e em uma ampla diversidade de ecossistemas, o que os posiciona como reservatórios potenciais de parasitas ainda pouco estudados.

Em conjunto, os achados aqui apresentados destacam a necessidade de ampliar o esforço de amostragem, sobretudo em regiões neotropicais pouco exploradas, e de integrar abordagens morfológicas, moleculares e ecológicas na identificação de *Trypanosoma* em anfíbios. A compreensão mais profunda desses parasitas, incluindo sua diversidade oculta, rotas de transmissão e interações com hospedeiros, é essencial não apenas para elucidar padrões evolutivos e biogeográficos, mas também para antecipar riscos sanitários em um contexto de mudanças ambientais aceleradas e crescente interface entre fauna silvestre, animais domésticos e populações humanas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES)—Código Financeiro 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).



REFERÊNCIAS

- ABDELAAL, M.; FOIS, M.; FENU, G.; BACCHETTA, G. Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crep. in Egypt. *Ecological Informatics*, v. 50, p. 68-75, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.01.003>
- ALMEIDA, P. H. A. Detecção molecular de protozoários em mamíferos silvestres oriundos da Mata Atlântica – Bahia (2020). Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, 2020.
- BEEBEE, T. J.; GRIFFITHS, R. A. The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology? *Biological Conservation*, v. 125, p. 271-285, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.009>
- BERNAL, X. E.; PINTO, C. M. Sexual differences in prevalence of a new species of trypanosome infecting túngara frogs. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, v. 5, n. 1, p. 40-47, 2016.
- CLARK, T. B. Comparative Morphology of Four Genera of Trypanosomatidae. *The Journal of Protozoology*, v. 6, n. 3, p. 227-232, 1959.
- COELHO, T. A.; SOUZA, D. C. D.; KAWASHITA-RIBEIRO, R. A.; CORREA, L. L. First record of *Trypanosoma* sp. (Kinetoplastea: Trypanosomatidae) parasiting *Rhinella major* in the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 93, n. 2, e20190467, 2021.
- COSTA, G. C.; SCHLUSS, I. Biogeography of the Amazon molly: ecological niche and range limits of an asexual hybrid species. *Global Ecology and Biogeography*, v. 19, p. 442-451, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00546.x>
- ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P. et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, v. 29, p. 129-151, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- ELLWANGER, J. H.; CHIES, J. A. B. Zoonotic spillover: Understanding basic aspects for better prevention. *Genetics and Molecular Biology*, v. 44, n. 1 (Suppl 1), e20200355, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2020-0355>
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. Disponível em: http://faostat3.fao.org/browse/area/*/E. Acesso em: dez. 2025.
- FERREIRA, S. J. I.; DA COSTA, A. P.; RAMIREZ, D.; ROLDAN, J. A.; SARAIVA, D.; DA S. FOUNIER, G. F.; ... MARCILI, A. Anuran trypanosomes: phylogenetic evidence for new clades in Brazil. *Systematic Parasitology*, v. 91, n. 1, p. 63-70, 2015.
- FOIS, M.; CUENA-LOMBRANA, A.; FENU, G.; BACCHETTA, G. Using species distribution models at local scale to guide the search of poorly known species: review, methodological issues and future directions. *Ecological Modelling*, v. 385, p. 124-132, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.07.018>
- GARREAUD, R. D.; VUILLE, M.; COMPAGNUCCI, R.; MARENKO, J. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 281, p. 180-195, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>



HADDAD, C. F. B.; TOLEDO, L. F.; PRADO, C. A. Anfíbios da Mata Atlântica: guia dos anfíbios anuros da Mata Atlântica. São Paulo: Editora Neotropica, 2008.

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. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

HIJMANS, R. J.; PHILLIPS, J.; LEATHWICK, J. E. Dismo: species distribution modeling. R package, v. 1, p. 1-4, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>. Acesso em: dez. 2025.

HOLT, R. D. On the evolutionary ecology of species' ranges. *Evolutionary Ecology Research*, v. 5, p. 159-178, 2003.

HOLT, R. D.; KEITT, T. H. Species' borders: a unifying theme in ecology. *Oikos*, v. 108, p. 3-6, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13145.x>

HONIGBERG, B. M. Evolutionary and systematic relationships in the flagellate order Trichomonadida Kirby. *Journal of Protozoology*, v. 10, p. 20-63, 1963. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1963.tb01635.x>

HYNE, R. V.; WILSON, S.; BYRNE, M. Frogs as bioindicators of chemical usage and farm practices in an irrigated agricultural area. Final Report to Land & Water Australia, 2009.

KAUFER, A.; ELLIS, J.; STARK, D.; BARRATT, J. The evolution of trypanosomatid taxonomy. *Parasites & Vectors*, v. 10, p. 287-1-17, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2204-7>

LEAL, D. D.; O'DWYER, L. H.; RIBEIRO, V. C.; SILVA, R. J.; FERREIRA, V. L.; RODRIGUES, R. B. Hemoparasites of the genus *Trypanosoma* (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) and hemogregarines in anurans of the São Paulo and Mato Grosso do Sul States—Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 81, p. 199-206, 2009.

LEMOS, M.; MORAIS, D. H.; CARVALHO, V. T.; D'AGOSTO, M. First record of *Trypanosoma chattoni* in Brazil and occurrence of other *Trypanosoma* species in Brazilian frogs. *Journal of Parasitology*, v. 94, n. 1, p. 148-151, 2008.

LUKEŠ, J.; BUTENKO, A.; HASHIMI, H.; MASLOV, D. A.; VOTÝPKA, J.; YURCHENKO, Y. Trypanosomatids are much more than just trypanosomes: clues from the expanded family tree. *Trends in Parasitology*, v. 34, n. 6, p. 466-480, 2018.

MEGÍA-PALMA, R.; SÁNCHEZ-MONTES, G.; NETHERLANDS, E.; PALOMAR, G.; MARTÍNEZ-SOLANO, I. High prevalence of *Trypanosoma* infection in Iberian green frogs (*Pelophylax perezi*): negative relationship with two indices of body condition. *Basic and Applied Herpetology*, v. 38, p. 91-110, 2024.

OLIVAL, K. J.; HOSSEINI, P. R.; ZAMBRANA-TORRELIO, C.; ROSS, N.; BOGICH, T. L.; DASZAK, P. Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature*, v. 546, p. 646-650, 2017. <https://doi.org/10.1038/nature22975>

ORTIZ-BAEZ, A. S.; COUSINS, K.; EDEN, J. S.; CHANG, W. S.; HARVEY, E.; PETTERSSON, J. H. O.; ... HOLMES, E. C. Meta-transcriptomic identification of *Trypanosoma* spp. in Australian wildlife. *Parasites & Vectors*, v. 13, n. 1, p. 447, 2020.



PETERSON, A. T. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor*, v. 103, p. 599-605, 2001. [https://doi.org/10.1650/0010-5422\(2001\)103\[0599:PSGDBO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1650/0010-5422(2001)103[0599:PSGDBO]2.0.CO;2)

PETERSON, A. T.; BALL, L. G.; COHOON, K. P. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis*, v. 144, p. e27-e32, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.0019-1019.2001.00031.x>

PHILLIPS, S. J. Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson et al. *Ecography*, v. 31, p. 272-278, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5378.x>

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, p. 231-259, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PHILLIPS, S. J.; ELITH, J. POC plots: calibrating species distribution models with presence-only data. *Ecology*, v. 91, p. 2476-2484, 2010. <https://doi.org/10.1890/09-0760.1>

PINHO, S. R.; RODRIGUEZ-MALAGA, S.; LOZANO-OSORIO, R.; CORREA, F. S.; SILVA, I. B.; SANTOS-COSTA, M. C. Effects of the habitat on anuran blood parasites in the Eastern Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 93 (Suppl 4), e20201703, 2021.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: dez. 2025.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. D.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, p. 185-204, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010>

RODRIGUES, A. F. S. F.; MORAIS, D. H.; CARVALHO, V. T.; D'AGOSTO, M.; LEMOS, M. Morphological and morphometric characterization of trypanosomes in *Leptodactylus lineatus* and *Osteocephalus* sp. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 20, p. 1-10, 2019.

SANTOS, J. C.; TARVIN, R. D.; O'CONNELL, L. A.; BLACKBURN, D. C.; COLOMA, L. A. Diversity within diversity: parasite species richness in poison frogs assessed by transcriptomics. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 125, p. 40-50, 2018.

SEGALLA, M.; BERNECK, B.; CANEDO, C. et al. List of Brazilian Amphibians. *Herpetologia Brasileira*, v. 10, p. 121-216, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4716176>

SILVANO, D. L.; SEGALLA, M. V. Conservação de anfíbios no Brasil. *Megadiversidade*, v. 1, p. 79-86, 2005.

SPODAREVA, V. V.; GRYBCHUK-IEREMENKO, A.; LOSEV, A.; VOTÝPKA, J.; LUKEŠ, J.; YURCHENKO, V.; KOSTYGOV, A. Y. Diversity and evolution of anuran trypanosomes: insights from European species. *Parasites & Vectors*, v. 11, p. 447, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3023-1>

STUART, S. N.; CHANSON, J. S.; COX, N. A.; YOUNG, B. E.; RODRIGUES, A. S. L.; FISCHMAN, D. L.; WALLER, R. W. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, v. 306, p. 1783-1786, 2004. <https://doi.org/10.1126/science.1103538>



WELLS, K.; CLARK, N. J. Host specificity in variable environments. *Trends in Parasitology*, v. 35, n. 6, p. 452-465, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.04.001>

WHILES, M. R.; LIPS, K. R.; PRINGLE, C. M. et al. The effects of amphibian population declines on the structure of Neotropical stream ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 4, p. 27-34, 2006. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0027:TEOAPD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0027:TEOAPD]2.0.CO;2)

WOO, P. T.; BOGART, J. P. *Trypanosoma* spp. (Protozoa: Kinetoplastida) in Hylidae (Anura) from eastern North America: distribution and prevalence. *Canadian Journal of Zoology*, v. 62, p. 820-824, 1984.

