

FATORES DE DIVERSIFICAÇÃO NA DIAGONAL DE FORMAÇÕES ABERTAS BRASILEIRA: UM ESTUDO COM *ISCHNOTHELE ANNULATA* (ARANEAE)

PALAVRAS-CHAVE: Genética da paisagem, Cerrado, Caatinga

Autores(as):

GABRIEL GONÇALVES DA SILVA, IB - UNICAMP

Dr^(a). MILLKE JASMINE ARMININI MORALES, IB - UNESP RIO CLARO

Prof^(a). Dr^(a). VERA NISAKA SOLFERINI, IB - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A região Neotropical, uma extensão do México ao norte da Argentina (Morrone, 2017), apresenta a maior riqueza de espécies do planeta (Antonelli & Sanmartín, 2011), com diversas formações ecológicas. A Diagonal Seca, localizada entre as florestas tropicais úmidas da Amazônia e da Mata Atlântica, é composta pelos biomas Cerrado e Caatinga, no Brasil, e Chaco, na Argentina, Paraguai e Bolívia (Prado & Gibbs, 1993; Werneck, 2011). Esse corredor, também chamado de Diagonal de Formações Abertas (DFA) (Vanzolini, 1963), representa uma grande extensão com alta heterogeneidade ambiental (Werneck, 2011).

Nos últimos anos, muitos estudos, especialmente filogeográficos, vêm sendo feitos na região Neotropical. Entretanto, mesmo com o aumento de estudos na região, alguns táxons são mais representados do que outros, sendo plantas e vertebrados os mais pesquisados em comparação à invertebrados (Turchetto-Zolet et al., 2013). Nesse contexto, estudos com táxons menos analisados, como os invertebrados, são muito importantes para entender a diversidade presente nos Neotrópicos e na Diagonal de formações abertas de maneira mais ampla. Dentre os invertebrados, aranhas têm poucos estudos acerca dos padrões da diversificação intra e interespecíficas. *Ischnothele annulata* (Araneae, Mygalomorphae) é um bom modelo de estudo devido à sua ampla distribuição neotropical e ao comportamento das fêmeas de permanecer no mesmo local após uma teia (Coyle, 1995), o que sugere baixa capacidade de dispersão e possível estruturação entre grupos ao longo de sua distribuição.

Análises prévias de agrupamento em *Ischnothele annulata* mostram que a espécie está estruturada em quatro grandes grupos ao longo da Diagonal de Formações Abertas Brasileira, com indicações de um processo de dispersão do Sudoeste para o Nordeste da diagonal. Neste projeto testamos a influência do ambiente no fluxo gênico entre as populações usando abordagens da Genética da Paisagem.

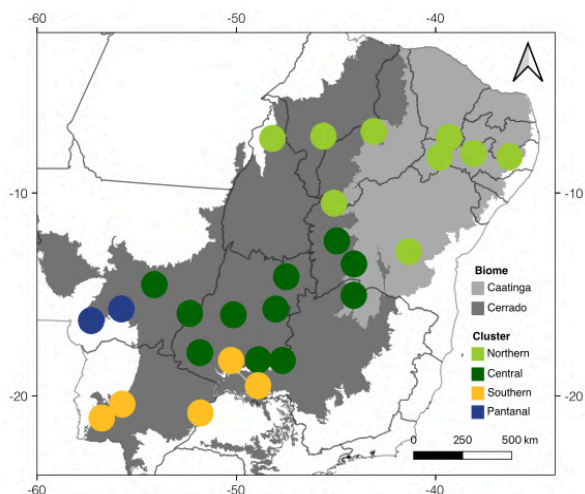


Figura 1. Resultado das análises prévias de agrupamentos, mostrando localização de quatro grupos genéticos: Pantanal, Sul (Southern), Central e Norte (Northern).

A Genética da Paisagem utiliza conceitos e técnicas da genética de populações e da ecologia de paisagem, integrando padrões genéticos espaciais com dados ambientais (Manel et al, 2003). Análises utilizando essas abordagens têm sido feitas na região Neotropical (eg Vasconcellos et al, 2019; Masiero da Fonseca, 2022), no entanto, a maioria dos trabalhos estuda vertebrados e plantas (Carvalho e Cortês, 2023). Assim, analisamos a influência do isolamento por ambiente (*IBE - Isolation By Environment*) (Wang e Bradburd, 2014) no padrão genético espacial de *Ischnothele annulata* pela associação de variáveis bioclimáticas e de elevação aos dados genéticos e geográficos coletados da espécie.

METODOLOGIA:

AMOSTRAGEM

Obtida através de sequenciamento de nova geração de amostras de 55 indivíduos provenientes de 27 localidades (um a seis indivíduos por localidade, com média de $1,9 \pm 0,87$). A matriz de dados genéticos utilizada contém 7325 SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism*) com desequilíbrio de ligação menor que 0,5.

ANÁLISES

Os dados geográficos foram as coordenadas geográficas de cada um dos pontos amostrados. Os dados ambientais foram as variáveis bioclimáticas e elevação, retirados da base de dados do *WorldClim* (Fick e Hijmans, 2017), sendo selecionadas apenas variáveis bioclimáticas com baixa correlação, por meio do pacote *caret* no *RStudio*. A integração dos dados foi realizada com *RStudio*, análise de redundância (RDA) (Van Den Wollenberg, 1977; Mcardle e Anderson, 2001), utilizando o pacote *vegan*, com o objetivo de identificar as variáveis mais relacionadas com a variação genético espacial nos diferentes grupos, e teste de modelo de dissimilaridade geral (GDM) (Ferrier et al, 2007), com uso do pacote *gdm*, para testar a diferença dos preditores entre as localidades e sua importância na variação. Para a criação dos mapas, o pacote *raster* do *RStudio* e o programa *QGis* foram usados.

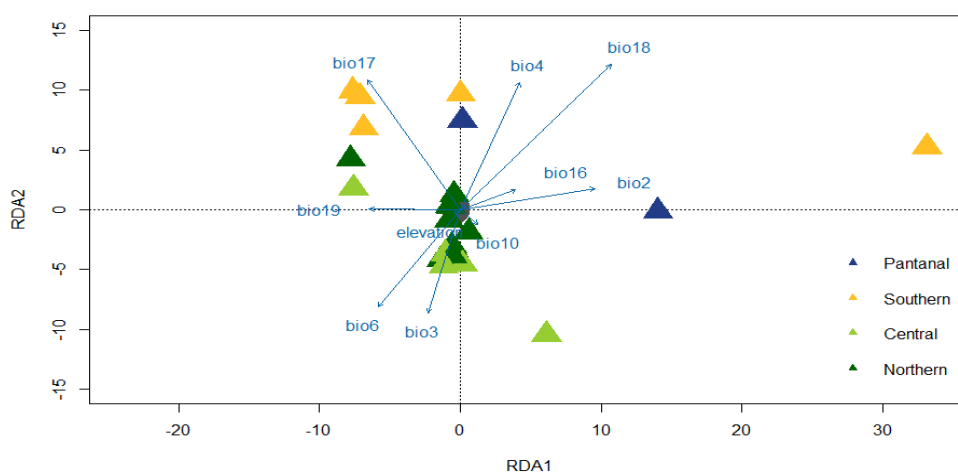
RESULTADOS E DISCUSSÃO:

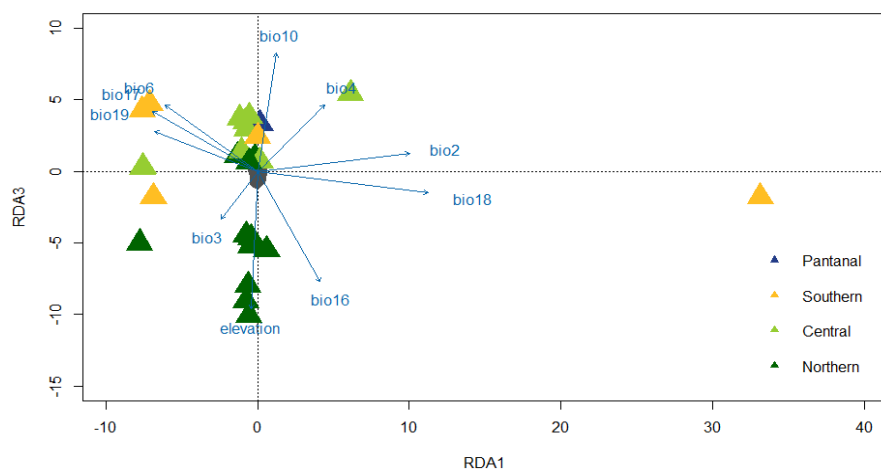
As variáveis bioclimáticas com baixa correlação utilizadas estão disponíveis abaixo, na tabela 1.

BIO 2	Intervalo Diurno Médio (Média de mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO 3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
BIO 4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão $\times 100$)
BIO 6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO 10	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO 16	Precipitação do Trimestre Mais Úmido
BIO 17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO 18	Precipitação do Trimestre Mais Quente
BIO 19	Precipitação do quarto mais frio

Tabela 1. Variáveis bioclimáticas com baixa correlação utilizadas para análises de redundância (RDA) e para o teste de modelo de dissimilaridade geral (GDM).

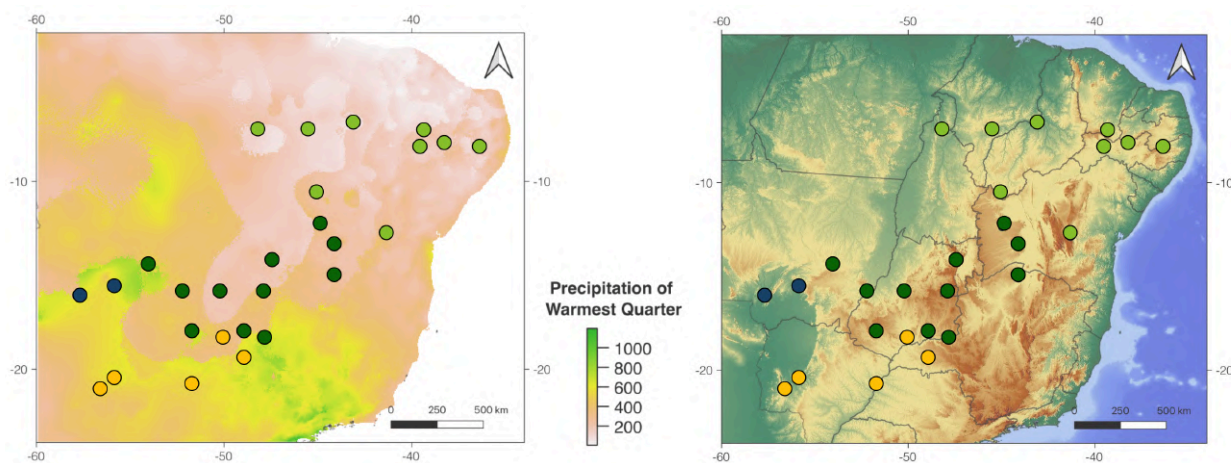
A análise de redundância (RDA), nos eixos 1 e 2 (Figura 2), mostrou que precipitação do trimestre mais seco (BIO17), precipitação do trimestre mais quente (BIO18) e sazonalidade de temperatura (BIO4) parecem estar relacionadas com os grupos Sul e Pantanal, separando-os dos grupos Central e Norte, enquanto que os eixos 1 e 3 (Figura 3) mostram que elevação, isotermalidade (BIO3) e precipitação do trimestre mais úmido (BIO16) estão relacionadas a alguns pontos do grupo Central.





Figuras 2 e 3. Diagramas de ordenação da análise de redundância (RDA), representando respectivamente os eixos 1 (46,1%) e 2 (13,7%) e os eixos 1 e 3 (8,2%). Southern = Sul, Northern = Norte, sendo: azul = Pantanal, amarelo = Sul, verde escuro = Central e verde claro = Norte.

A distribuição de duas variáveis ao longo da DFA brasileira varia entre as localidades. A BIO18 apresenta valores mais altos nos grupos Sul e Pantanal em relação aos grupos Central e Norte (Figura 4). O grupo Central ocorre em altitudes mais altas do que os grupos Pantanal e Sul e o grupo Norte não está restrito à formação geomorfológica específica (Figura 5).



Figuras 4 e 5. Respectivamente, mapas com gradiente de valores de precipitação do trimestre mais quente (BIO18) e de elevação da região analisada. Os pontos indicam a localização dos grupos genéticos, sendo: azul = Pantanal, amarelo = Sul, verde escuro = Central e verde claro = Norte.

Já na análise GDM, a precipitação do trimestre mais quente (BIO18) explicou melhor a variação nos dados genéticos (18%, p-valor = 0,055). Entretanto, o modelo de Isolamento por Distância (IBD - *Isolation by distance*) (Wright, 1943) foi o melhor preditor, denotando que o conjunto de dados ambientais e os dados genéticos não apresentam correlação significativa.

CONCLUSÕES:

O conjunto de dados ambientais não foi a melhor explicação para o fluxo gênico de *Ischnothele annulata* na Diagonal de formações abertas brasileira, que mostra um padrão de IBD. Variáveis bioclimáticas específicas e elevação mostraram uma indicação de relação com determinadas localidades. Em análises futuras, pretendemos: testar Isolamento por resistência (IBR - *Isolation by resistance*) (McRae,2006) para Precipitação do trimestre mais quente (BIO18) e relevo (através de rugosidade) e avaliar a existência de loci sob seleção para compreender melhor a adaptação local.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONELLI, A.; SANMARTÍN, I. **Why are there so many plant species in the Neotropics?**. *Taxon*, v. 60, n. 2, p. 403-414, 2011.
- CARVALHO, Carolina da Silva; CÔRTEZ, Marina Corrêa. **Landscape Genetics in the Neotropics**. In: *Conservation Genetics in the Neotropics*. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 145-165.
- COYLE, F. A. **A Revision of the funnelweb mygalomorph spider subfamily Ischnothelinae (Araneae, Dipluridae)**. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 226, 1995.
- FERRIER, Simon et al. **Using generalized dissimilarity modelling to analyse and predict patterns of beta diversity in regional biodiversity assessment**. *Diversity and distributions*, v. 13, n. 3, p. 252-264, 2007.
- FICK, Stephen E.; HIJMANS, Robert J. **WorldClim 2: new 1- km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. *International journal of climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.
- MANEL, Stéphanie et al. **Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics**. *Trends in ecology & evolution*, v. 18, n. 4, p. 189-197, 2003.
- MASIERO DA FONSECA, Emanuel. **Investigating the drivers of genetic variation of Neotropical lizards**. The Ohio State University, 2022.
- MCARDLE, Brian H.; ANDERSON, Marti J. **Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis**. *Ecology*, v. 82, n. 1, p. 290-297, 2001.
- MCRAE, Brad H. **Isolation by resistance**. *Evolution*, v. 60, n. 8, p. 1551-1561, 2006.
- MORRONE, Juan J. **Neotropical biogeography: regionalization and evolution**. Crc Press, 2017.
- PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. **Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America**. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 902-927, 1993.
- TURCHETTO-ZOLET, A. C. et al. **Phylogeographical patterns shed light on evolutionary process in South America**. *Molecular ecology*, v. 22, n. 5, p. 1193-1213, 2013.
- VAN DEN WOLLENBERG, Arnold L. **Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis**. *Psychometrika*, v. 42, n. 2, p. 207-219, 1977.
- VANZOLINI, P.E. **Problemas faunísticos do Cerrado**, p.305-321. In: M.G. FERRI (Ed.). *Simpósio sobre o Cerrado*. São Paulo, Univ. de São Paulo, 1963.
- VASCONCELLOS, Mariana M. et al. **Isolamento por instabilidade: mudanças climáticas históricas moldam a estrutura populacional e a divergência genômica de pererecas no Cerrado Neotropical**. *Ecologia Molecular*, v. 28, n. 7, p. 1748-1764, 2019.
- WANG, Ian J.; BRADBURD, Gideon S. **Isolation by environment**. *Molecular ecology*, v. 23, n. 23, p. 5649-5662, 2014.
- WERNECK, F. P. **The diversification of eastern South American open vegetation biomes: historical biogeography and perspectives**. *Quaternary Science Reviews*, 30(13-14), 1630-1648, 2011.
-