



INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE

**INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NA MORFOLOGIA DE GIRINOS DE DUAS
ESPÉCIES DO GÊNERO *Scinax* (AMPHIBIA, ANURA, HYLIDAE) NO OESTE DO
PARANÁ**

NIKOLLE ALEJANDRA MARTINEZ ALEMAN

Foz do Iguaçu
2026

**INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NA MORFOLOGIA DE GIRINOS DE DUAS
ESPÉCIES DO GÊNERO *Scinax* (AMPHIBIA, ANURA, HYLIDAE) NO OESTE DO
PARANÁ**

NIKOLLE ALEJANDRA MARTINEZ ALEMAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Michel Varajão Garey
Coorientador: Msc. Lucas Sobral dos Santos

Foz do Iguaçu
2026

NIKOLLE ALEJANDRA MARTINEZ ALEMAN

**INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NA MORFOLOGIA DE GIRINOS DE DUAS
ESPÉCIES DO GÊNERO *Scinax* (AMPHIBIA, ANURA, HYLIDAE) NO OESTE DO
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Michel Varajão Garey
UNILA

Coorientador: Msc. Lucas Sobral dos Santos

Prof. Dr. Fabiano Stefanello
(UESC)

Prof. Dr. Luiz Roberto Ribeiro Faria Junior
UNILA

Foz do Iguaçu, 3 de julho de 2026.

Dedico este trabajo a mi mamá y a mi hermana, que siempre estuvieron a mi lado y nunca me soltaron la mano, inclusive en la distancia. Su apoyo y sus conversaciones fueron esenciales para llegar hasta aquí. Este logro también es de ustedes.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que sempre acreditou em mim, incentivou meu estudo e me ensinou o valor das pequenas coisas que criamos ao longo da vida. Sem ela, eu nunca teria chegado até aqui. Obrigada por todo o amor, apoio, garantir uma boa qualidade de vida e compreensão nesses quatro anos longe de casa.

À minha irmã, por estar sempre presente, obrigada por me dar forças e acreditar em mim, por me apoiar em todos os momentos, por me acompanhar junto nessa caminhada da vida, por ser minha amiga. Sou grata com a vida ter me dado uma irmã gêmea para compartilhar todos os meus momentos da minha vida.

Aos meus amigos que conheci em Foz do Iguaçu e me fizeram sentir em casa, me mostrando o valor da amizade, Giovanna, Edu, Hector. Vocês me deram suporte e muitos momentos de alegria. Obrigada pelos cafés, festas juninas, pelas refeições e pelos inúmeros momentos juntos.

Aos meus amigos e colegas do laboratório, Juan, Lina, Udo, Alberto, Regiane e Alice. Obrigada por tornarem os dias muito mais divertidos, por compartilharem suas experiências e principalmente por o apoio acadêmico, vocês são pessoas incríveis e com um futuro brilhante pela frente.

À turma 2021, Giovanna, Alberto, Caio, Aline, Ana, Luana, Matheus, Sophia, Patricia, Julia, Davi. Que caminho junto comigo nesse curso e amor pela biologia. Agradeço pelo acolhimento, pelas trocas de conhecimento, por me mostrar a cultura brasileira, pelas risadas, pelas festas, que tornaram essa caminhada mais leve.

Ao professor Michel, que me guiou ao longo desses últimos anos. Obrigada por seus ensinamentos e sua paciência, você é um excelente orientador e professor, e sobretudo uma pessoa muito humana. Gratidão pela parceria e por me mostrar o curso fora das aulas, pelas oportunidades de participação em eventos e campos que contribuíram na minha experiência profissional.

E por último, à UNILA. Por me permitir estudar numa universidade pública, de qualidade e com aprendizado de diversas culturas. Aos meus professores Cleto, Nuno, Elaine, Danubia, Hermes, e demais pela sua dedicação e empenho em ensinar.

RESUMO

As mudanças no uso e ocupação do solo, incluindo a urbanização, alteram drasticamente os ecossistemas terrestres e aquáticos, modificando a paisagem e, consequentemente, a distribuição das espécies, além de exercer uma pressão seletiva sobre os indivíduos. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar se as mudanças no uso e ocupação do solo influenciam na forma e tamanho de duas espécies de anuros do gênero *Scinax* ao longo de um gradiente de urbanização na Mata Atlântica do sul do Brasil. Para isso, girinos de *Scinax fuscovarius* e *S. squalirostris* foram amostrados em áreas florestais, rurais e urbanas nos municípios de Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu. Foi usada a abordagem de morfometria geométrica para analisar comparativamente a morfologia. Verificamos que a cobertura do solo afetou o tamanho corporal em ambas as espécies ($P = 0,0151$). Foi observado um efeito significativo da cobertura do solo sobre a forma, tanto para *S. fuscovarius* ($R^2 = 0,0321$; $P = 0,0221$) quanto para *S. squalirostris* ($R^2 = 0,0491$; $P = 0,0271$). A maior parte da variação morfológica ($>70\%$) foi retida nos dois primeiros eixos de ordenação para as duas espécies. A relação alométrica entre forma e tamanho, variou conforme a espécie e o tipo de uso de solo, foi positiva para *S. fuscovarius* apenas na área florestal ($P = 0,0201$), e negativa na área urbana ($P = 0,013$) e para *S. squalirostris* foi negativa nas áreas urbanas ($P = 0,0265$), as áreas rurais e florestais, sem relação alométrica. Verificamos que as mudanças na cobertura do solo influenciaram a morfologia das duas espécies, porém de formas distintas entre si, enquanto *S. fuscovarius* apresentou variações mais sutis com áreas rurais funcionando como intermediário gradual, *S. squalirostris* apresentou alterações morfológicas mais pronunciadas, especialmente na cauda no gradiente rural, sugerindo maior plasticidade às pressões seletivas impostas pela antropização. Adicionalmente, áreas rurais atuaram como zona de interseção morfológica entre os extremos florestal e urbano para ambas espécies, sugerindo um gradiente contínuo de resposta à antropização. Nossos resultados reforçam que as alterações no uso e cobertura do solo exercem pressões seletivas sobre a morfologia das espécies de anuros, as quais se mostraram plásticas e adaptativas, contudo, reforça a necessidade de monitoramento das populações a longo prazo para avaliar possíveis impactos na aptidão.

Palavras-chave: Mata Atlântica, ecomorfologia, morfometria geométrica, plasticidade fenotípica, paisagem antropizada.

RESUMEN

Los cambios en el uso y ocupación del suelo, incluyendo la urbanización, alteran drásticamente los ecosistemas terrestres y acuáticos, modificando el paisaje y, consecuentemente, la distribución de las especies, además de ejercer una presión selectiva sobre los individuos. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar si los cambios en el uso y ocupación del suelo influyen en la forma y el tamaño de dos especies de anuros del género *Scinax* a lo largo de un gradiente de urbanización en la Mata Atlántica del sur de Brasil. Para ello, se muestrearon renacuajos de *Scinax fuscovarius* y *S. squalirostris* en áreas forestales, rurales y urbanas en los municipios de Foz do Iguaçu y Santa Terezinha de Itaipu. Se utilizó el enfoque de morfometría geométrica para analizar comparativamente la morfología. Verificamos que la cobertura del suelo afectó el tamaño corporal en ambas especies ($P = 0,0151$). Se observó un efecto significativo de la cobertura del suelo sobre la forma, tanto para *S. fuscovarius* ($R^2 = 0,0392$; $P = 0,0221$) como para *S. squalirostris* ($R^2 = 0,0491$; $P = 0,0271$). La mayor parte de la variación morfológica ($>70\%$) fue retenida en los dos primeros ejes de ordenación para las dos especies. La relación alométrica entre forma y tamaño varió según la especie y el tipo de uso de suelo: fue positiva para *S. fuscovarius* solo en el área florestal ($P = 0,0201$), y negativa en área urbana ($P = 0,013$) y para *S. squalirostris* fue negativa en las áreas urbanas ($P = 0,0265$), las áreas rurales y florestales, sin relación alométrica. Verificamos que los cambios en la cobertura del suelo influenciaron la morfología de las dos especies, pero de formas distintas entre sí: mientras que *S. fuscovarius* presentó variaciones más sutiles con áreas rurales funcionando como intermediario gradual, *S. squalirostris* mostró alteraciones morfológicas más pronunciadas, especialmente en la cola el gradiente rural, sugiriendo mayor plasticidad a las presiones selectivas impuestas por la antropización. Adicionalmente, las áreas rurales actuaron como zona de intersección morfológica entre los extremos forestal y urbano para ambas especies, sugiriendo un gradiente continuo de respuesta a la antropización. Nuestros resultados refuerzan que las alteraciones en el uso y cobertura del suelo ejercen presiones selectivas sobre la morfología de las especies de anuros, las cuales se mostraron plásticas y adaptativas; sin embargo, refuerza la necesidad de monitoreo de las poblaciones a largo plazo para evaluar posibles impactos en la aptitud.

Palabras clave: Mata Atlántica, ecomorfología, morfometría geométrica, plasticidad fenotípica, paisaje antropizado.

ABSTRACT

Changes in land use and occupation, including urbanization, drastically alter terrestrial and aquatic ecosystems, modifying the landscape and, consequently, species distribution, in addition to exerting selective pressure on individuals. In this context, the aim of this study was to evaluate whether changes in land use and occupation influence the shape and size of two anuran species of the genus *Scinax* along an urbanization gradient in the Atlantic Forest of southern Brazil. To this end, tadpoles of *Scinax fuscovarius* and *S. squalirostris* were sampled in forest, rural and urban areas in the municipalities of Foz do Iguaçu and Santa Terezinha de Itaipu. The geometric morphometrics approach was used to comparatively analyze morphology. We found that land cover affected body size in both species ($P = 0.0366$), with an interspecific difference ($P = 0.0007$), with *S. squalirostris* being larger than *S. fuscovarius*. A significant effect of land cover on shape was observed for both *S. fuscovarius* ($R^2 = 0.0392$; $P = 0.0221$) and *S. squalirostris* ($R^2 = 0.0491$; $P = 0.0271$). Most of the morphological variation ($>70\%$) was retained in the first two ordination axes for both species. The allometric relationship between shape and size varied according to species and land use type: it was positive for *S. fuscovarius* only in forest areas ($P = 0.0201$), and negative in urban areas ($P = 0.013$) and for *S. squalirostris* was negative in urban areas ($P = 0.0265$), rural and forest areas, with no relationship in allometric. We found that changes in land cover influenced the morphology of the two species, but in different ways: while *S. fuscovarius* presented more subtle variations with rural areas functioning as a gradual intermediate, *S. squalirostris* showed more pronounced morphological alterations, especially in the rural gradient, suggesting greater plasticity to the selective pressures imposed by anthropization. Additionally, rural areas acted as a morphological intersection zone between the forest and urban extremes for both species, suggesting a continuous gradient of response to anthropization. Our results reinforce that changes in land use and cover exert selective pressures on the morphology of anuran species, which proved to be plastic and adaptive; however, it reinforces the need for long-term population monitoring to assess possible impacts on fitness.

Key words: Atlantic Forest; ecomorphology; geometric morphometrics; phenotypic plasticity; anthropized landscape.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Caracterização das duas espécies do gênero *Scinax*. A1) Indivíduo adulto de *Scinax fuscovarius*; A2) Estágio larval de *Scinax fuscovarius*; B1) Indivíduo adulto de *Scinax squalirostris*; B2) Estágio larval de *Scinax squalirostris*. Fonte: A1) Nicolas Heinz; A2 e B2) Darlene da Silva Gonçalves, 2014; B1) Daniel Hermann via iNaturalist..... 20
- Figura 2** – Distribuição dos pontos de amostragem dos girinos de duas espécies de *Scinax* (Amphibia) no extremo oeste do Paraná, com detalhe nas classes de cobertura do uso de solo dentro dos buffers de 500 metros de raio ao redor dos corpos d'água amostrados..... 22
- Figura 3** – Posição dos 7 landmarks em vista lateral em indivíduos do gênero *Scinax*.... 23
- Figura 4** – Variação no tamanho dos girinos de duas espécies de *Scinax* (Amphibia) em função da cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná..... 26
- Figura 5** – Variação do formato do corpo de *Scinax fuscovarius* e *Scinax squalirostris* ao longo de um gradiente de cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná. 27
- Figura 6** – Variação na forma de *Scinax fuscovarius* ao longo de um gradiente de cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná. A) Florestal; B) Rural; C) Urbano..... 27
- Figura 7** – Variação na forma de *Scinax squalirostris* ao longo de um gradiente de cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná. A) Florestal; B) Rural; C) Urbano..... 28
- Figura 8** – Análise de Componentes Principais da matriz de morfometria geométrica em vista lateral dos girinos de *Scinax fuscovarius* coletados ao longo de um gradiente florestal-rural-urbano na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná..... 29
- Figura 9** – Análise de Componentes Principais da matriz de morfometria geométrica em vista lateral dos girinos de *Scinax squalirostris* coletados ao longo de um gradiente florestal-rural-urbano na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná..... 29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2 DELINEAMENTO.....	19
3.3 ANÁLISE DE DADOS.....	23
4 RESULTADOS.....	25
5 DISCUSSÃO.....	31
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Atividades humanas alteram paisagens naturais, modificando diretamente ecossistemas (Ellis, 2021), exercendo uma pressão seletiva sobre os organismos e afetando a distribuição da biodiversidade (McKinney, 2006; Alberti, 2015; Brans et al., 2017). O crescimento populacional acelerado intensificou essas mudanças na transição desses ambientes naturais para extensas alterações na composição, cobertura e uso de solo (Winkler et al., 2021). As mudanças no uso e cobertura do solo requerem atenção devido ao seu grande impacto na biodiversidade e no funcionamento dos ecossistemas (Titeux et al., 2017; Goertzen & Suhling, 2019). A conversão de ambientes naturais, como as florestas, em áreas agrícolas ou urbanizadas resulta na perda e fragmentação de habitats e, conseqüentemente, na perda de espécies em diversos ecossistemas do planeta (Naeem et al. 2012; Dirzo et al. 2014). A perda de habitat pela conversão no uso e cobertura do solo são uma das principais causas do declínio da biodiversidade de anfíbios, além disso, devido às incertezas dos impactos das mudanças climáticas sobre as espécies, reforçam a necessidade de investigar e implementar ações de conservação que abordam aspectos específicos, especialmente aquelas identificadas em riscos graves de declínio populacional (Luedtke et al., 2023).

Um dos impactos mais evidentes das mudanças no uso e cobertura do solo, principalmente pela urbanização e expansão agrícola, é a perda e fragmentação de habitats, que impõem pressões seletivas sobre os organismos (Marques et al., 2019a). Essas pressões podem levar a mudanças fenotípicas expressivas, afetando, por exemplo, o tamanho corporal e a morfologia geral das espécies, tem um trabalho envolvendo como a urbanização pode atuar como uma barreira ecológica, modificando comunidades por meio da seleção de características funcionais específicas, entre essas o tamanho corporal, em diversos grupos taxonômicos tendem a ser compostas por espécies com menor tamanho as comunidades urbanas, possivelmente ao aumento das temperaturas,

no entanto, esse padrão pode ser sobreposto por outras pressões, como a fragmentação do habitat, que favorece espécies com maior capacidade de dispersão, frequentemente associada com maior tamanho corporal, criando respostas contrastantes e dependentes do grupo (Merckx et al., 2018). Em anfíbios, as alterações antrópicas na paisagem tem se mostrado capazes de moldar tanto a morfologia larval quanto a de adultos, por exemplo, um estudo com *Scinax squalirostris* revelou que a morfologia dos girinos é influenciada por fatores ambientais locais e por fatores de paisagem, como a área de cultivo no entorno dos corpos d'água (Boelter et al., 2022). Da mesma forma, pesquisas com *Bufo bufo* indicam que indivíduos de habitats naturais apresentam morfologias distintas daqueles de áreas urbanas, com diferenças significativas no tamanho do corpo e comprimento dos membros, sugerindo respostas adaptativas ou plásticas à modificação do habitat (Bettencourt - Amarante et al., 2025). Essas respostas morfológicas são importantes, pois estão diretamente ligadas à sobrevivência dos organismos em atividades como locomoção, forrageamento e escape de predadores, influenciando, portanto, sua aptidão em paisagens antropizadas (Arnold, 1983).

Os anfíbios são um dos grupos mais sensíveis às alterações ambientais, as quais podem causar anomalias morfológicas, redução da imunidade, desvios no desenvolvimento e aumento da mortalidade (Costa & Nomura, 2016). Essa vulnerabilidade é intensificada pela sua pele permeável e seu ciclo de vida bifásico, que exige ambientes aquáticos para a reprodução e desenvolvimento larval, e ambientes terrestres para a vida adulta, tornando-os dependentes da conectividade entre esse dois habitats, dessa forma, processos como a fragmentação da paisagem e a perda de habitats podem comprometer o fluxo de indivíduos entre ambientes e todo o ciclo de vida da espécie, reduzindo a viabilidade das populações e aumentando o risco de declínio local (Wells, 2007). Neste cenário de modificações ambientais, as pressões seletivas

desses novos ambientes podem ser contornadas pela plasticidade fenotípica, um mecanismo de adaptação que nos anuros, especialmente durante seu estágio larval, devido à sua ampla diversidade morfológica associada com aspectos funcionais como locomoção, alimentação e mecanismos de anti-predação (Pezzuti et al., 2016). Girinos são capazes de moldar suas características morfológicas, tanto devido a pressões locais quanto na paisagem (Marcelino, 2009; Guillo et al., 2016; Oyamaguchi et al., 2017). Essa capacidade de resposta morfológica particularmente evidente nos girinos, demonstra que podem ajustar a forma do corpo, o tamanho da cauda, e a posição de estruturas sensoriais em resposta às condições ambientais locais como disponibilidade de recursos e qualidade da água (Marques et al., 2019a; Boelter et al., 2022). Estudos demonstram que fatores como a heterogeneidade da vegetação, as características do habitat aquático e as alterações no uso do solo podem influenciar essas variações morfológicas, evidenciando a elevada plasticidade fenotípica desse estágio de vida, tal plasticidade permite que os indivíduos ajustem seu desempenho às condições ambientais e poder atuar como um mecanismo compensatório frente às alterações antrópicas (Van Buskirk, 2009; Marques et al., 2019b). Desta forma, alterações em sua abundância, desenvolvimento ou morfologia podem servir como sinais de degradação do habitat, refletindo a integridade e oferecendo percepções de ecossistemas aquáticos (Carreira et al., 2016).

Para quantificar e comparar as alterações morfológicas decorrentes de anomalias, desvios no desenvolvimento e respostas plásticas, a morfometria geométrica surge como importante ferramenta, usando landmarks homólogos que permitem investigar padrões de variação morfológica associados com fatores ambientais e compreender como gradientes ecológicos influenciam a diversidade fenotípica (Mitteroecker & Gunz, 2009; Medeiros, 2019). Essa abordagem possibilita identificar, por exemplo, mudanças na forma do corpo, no tamanho relativo da cauda e na posição de estruturas sensoriais como olhos e narinas,

em resposta a variações ambientais, estudos têm demonstrado que fatores como a presença de predadores, as características físico-químicas da água, o hidroperíodo e alterações no uso do solo podem influenciar significativamente a morfologia larval, dessa forma, a morfometria geométrica permite analisar informações morfológicas sobre mecanismos de adaptação a diferentes contextos ambientais. (Marques et al., 2019a; Boelter et al., 2022). No caso dos anfíbios, as mudanças na forma do corpo, da cauda e estruturas sensoriais podem ser usados como indicadores sensíveis da qualidade ambiental, pois alterações morfológicas refletem diretamente a influência de gradientes ecológicos e de perturbações antrópicas, como a urbanização e a conversão de habitats naturais em áreas agrícolas (Niemeier et al., 2019).

Apesar de serem feitos vários estudos na região neotropical estabelecendo que atividades antrópicas têm grandes impactos nos anfíbios (e.g., Costa et al., 2017), indicando efeitos significativos das mudanças no uso e cobertura do solo sobre anfíbios (e.g., Moreira, 2020), e adicionando evidências que mostram que a variação morfológica observada entre populações de girinos está associada às condições ambientais locais, refletindo respostas plásticas e processos de diferenciação fenotípica intraespecífica (e.g., Quinzio & Goldberg, 2021). Ainda são escassos os estudos que utilizam morfometria geométrica para avaliar especificamente os efeitos em diferentes gradientes de uso e cobertura do solo sobre morfologia larval (e.g., Pezzuti et al., 2016). Desta forma, nossa compreensão sobre os efeitos da antropização na morfologia de girinos ao longo de gradientes de uso do solo com esta ferramenta mais precisa ainda permanece limitada. O presente trabalho contribui para preencher essa lacuna ao investigar a influência de um gradiente florestal - rural - urbano sobre a morfologia de duas espécies do gênero *Scinax* na Mata Atlântica do interior. Portanto, compreender os potenciais impactos das mudanças no uso e cobertura do solo na variação morfológica de girinos contribuirá

significativamente para aumentar nosso conhecimento sobre os efeitos da antropização na biodiversidade, favorecendo o entendimento de como as dinâmicas eco-evolutivas podem ocorrer em ambientes antropizados na região Neotropical.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar se as mudanças no uso e ocupação do solo influenciam na forma e tamanho de duas espécies de anuros do gênero *Scinax* (Amphibia, Anura, Hylidae) em um município inserido na Mata Atlântica interiorana do sul do Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Mais especificamente buscou-se:

- a) Caracterizar a ocupação de solo (i.e., área urbana, rural e florestal) circundante dos corpos d'água;
- b) Estabelecer os landmarks para a obtenção dos dados morfológicos dos girinos;
- c) Analisar a morfologia externa dos girinos por meio de morfometria geométrica;
- d) Avaliar e comparar a variação morfológica de duas espécies cogenéricas ao longo de um gradiente de uso e cobertura do solo;
- e) Verificar se há uma associação entre a forma e tamanho dos indivíduos ao longo do gradiente de uso e cobertura do solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na área urbana, rural e florestal dos municípios de Foz do Iguaçu (25° 32' 49" S, 54° 35' 11" O) e Santa Terezinha de Itaipu (25° 25' 00" S, 54° 25' 00" O), localizados no extremo oeste do estado do Paraná, na região sul do Brasil. Foz do Iguaçu possui uma população estimada de 285.415 habitantes e uma densidade demográfica de 468,51 hab/km² (IBGE, 2022) e Santa Terezinha de Itaipu possui uma população estimada de 24.262 habitantes e uma densidade demográfica de 90.40 hab/km² (IBGE, 2022).

A região estudada está inserida no bioma da Mata Atlântica. A vegetação original é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual (Ab'Saber, 2003). Contudo, a vegetação nativa foi intensamente devastada em função da aptidão do solo para agricultura e pecuária, restando principalmente o Parque Nacional do Iguaçu (PNI), maior remanescente da Mata Atlântica interiorana. O PNI abrange uma extensão de 185.262 hectares e está conectado ao Parque Nacional Iguazú, na Argentina, através do Rio Iguaçu, juntos, formam um conjunto de áreas protegidas que abriga as Cataratas do Iguaçu, reconhecidas como Patrimônio Mundial da Humanidade pela UNESCO (Brasil, 2019). Além do PNI, na região existem apenas pequenos fragmentos florestais isolados e áreas florestais na margem do reservatório da Usina Hidroelétrica de Itaipu Binacional, sendo uma delas o Refúgio Biológico Bela Vista. A paisagem agrícola é dominada pelo cultivo de soja em larga escala, frequentemente seguido pelo milho safrinha, e, menos frequente na região as áreas de pastagem.

O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido, caracterizado pela ausência de estação seca definida (Alvares et al., 2013). As temperaturas são elevadas no verão, frequentemente ultrapassando os 30°C, enquanto no inverno podem registrar

valores inferiores a 0°C. A pluviosidade anual varia entre 1600 e 1900 mm, com maior concentração de chuvas nos meses de outubro a março (Alvares et al., 2013).

3.2 DELINEAMENTO

Scinax fuscovarius e *Scinax squalirostris* são hilídeos de ampla distribuição na América do Sul, ocorrendo no Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e Bolívia (Frost, 2020). *S. fuscovarius* é uma espécie de médio porte, com comprimento rostro-cloacal variando entre 3,7 e 4,8 cm, enquanto *S. squalirostris* é menor, medindo de 2,4 a 2,9 cm (Haddad et al., 2008). Ambas espécies apresentam dimorfismo sexual, com fêmeas maiores e mais pesadas que os machos (Pombal, 1997). *S. fuscovarius* possui dorso castanho-escuro ou acinzentado com manchas e linhas escuras, ventre esbranquiçado com manchas escuras e coxas com manchas amarelas contrastantes com regiões pretas (Eterovick, 2020). *S. squalirostris* é mais esguio, com cabeça longa e focinho bastante projetado, apresentando duas bandas longitudinais claras no dorso e uma linha mediana dorsal preta (Lopes, 2022). Quanto à reprodução, ambas as espécies apresentam reprodução prolongada, com atividade associada ao período chuvoso depositados sobre vegetação aquática e submersos a pequenas profundidades (Prado et al., 2005). Machos de ambas as espécies vocalizam as margens de corpos d'água parados, como lagoas, açudes e banhados, utilizando vegetação emergente como sítios de vocalização e formação de casais (Conte & Rossa-Feres, 2006). No estágio larval, ambas as espécies desenvolvem-se predominantemente em ambientes lênticos como poças temporárias, lagos e açudes, apresentando hábito nectónico, apresentam corpo elíptico em vista dorsal, disco oral anteroventral e espiráculo sinistro, no entanto, *S. fuscovarius* é caracterizada por um corpo mais robusto, cauda com comprimento intermediário e afilada, focinho arredondado e pode atingir ao redor de 40mm de comprimento nos estágios finais de desenvolvimento larval, enquanto *S. squalirostris* apresenta corpo mais achatado, cauda longa e

arredondada, focinho mais alongado e pontiagudo, atingindo aproximadamente 25-30mm de comprimento total (Rossa-Feres et al., 2024) (Figura 1).

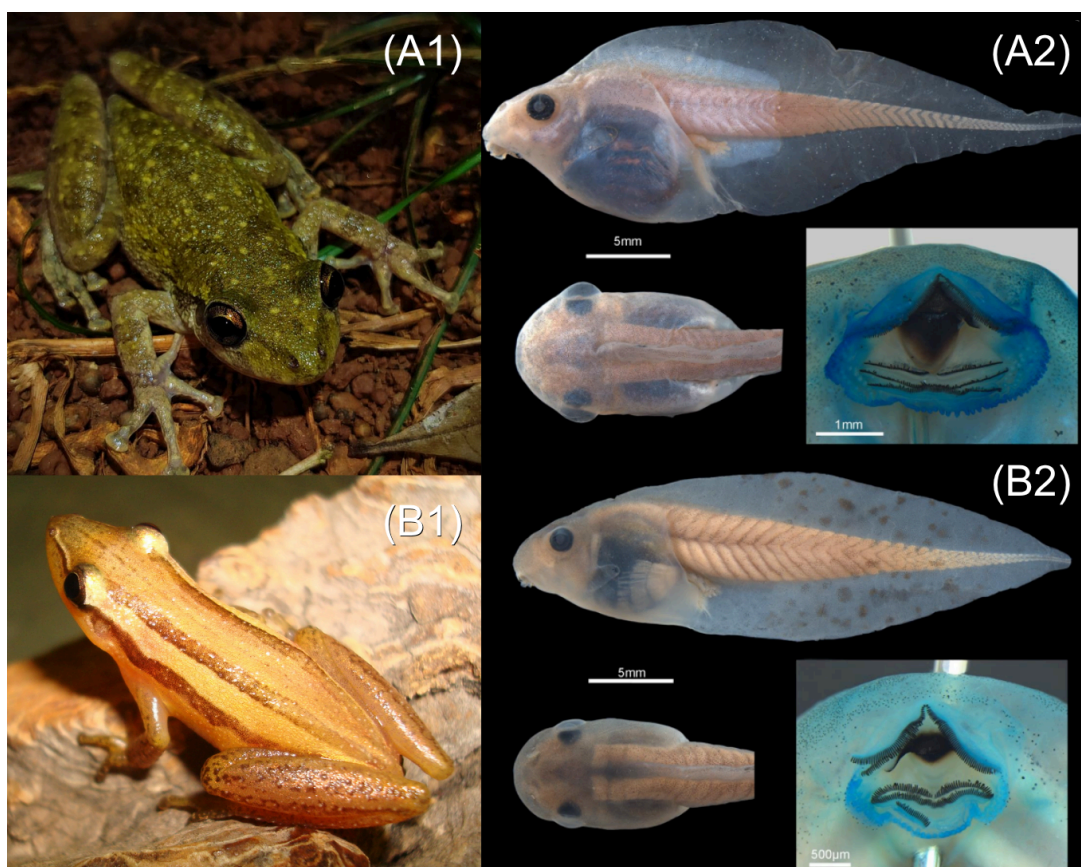


Figura 1 – Caracterização das duas espécies do gênero *Scinax*. A1) Indivíduo adulto de *Scinax fuscovarius*; A2) Estágio larval de *Scinax fuscovarius*; B1) Indivíduo adulto de *Scinax squalirostris*; B2) Estágio larval de *Scinax squalirostris*. Fonte: A1) Nicolas Heinz; A2 e B2) Darlene da Silva Gonçalves, 2014; B1) Daniel Hermann via iNaturalist.

Utilizamos indivíduos previamente coletados em projetos anteriores na região de Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, extremo oeste do Paraná, e que estão depositados na Coleção Herpetológica Bertha Lutz da UNILA. Os indivíduos analisados atenderam aos seguintes critérios: (i) indivíduos coletados em corpos d'água lânticos; (ii) a coleta foi realizada nos últimos nove anos; (iii) indivíduos obtidos em pelo menos três corpos d'água em cada tipo de uso do solo, com uma média de sete indivíduos por cada corpo d'água. Dessa forma, o número total de indivíduos por categoria de uso de solo foi aproximadamente 30, resultando em um esforço amostral de 100 indivíduos por espécie.

A avaliação da cobertura do solo foi realizada por meio da caracterização da paisagem circundante aos corpos d'água utilizando o programa QGIS 2.18 (Quantum G.I.S. 2017) através das imagens dos satélites RapidEye (2013) obtidas a partir da base de dados do Map Biomas (Souza et al., 2023). Na região estudada, o Map Biomas identifica várias classes de cobertura do solo, e para fins de análise algumas dessas classes foram agrupadas para formar classes mais amplas e ecologicamente relevantes. Foram agrupadas em três categorias; na classificação formação florestal abrange (formação florestal; floresta alagável; formação savânica, formação campestre; campo alagado e área pantanosa), na classificação área urbanizada abrange área não vegetada (outras áreas não vegetadas; mineração; área urbanizada; usina fotovoltaica), na classificação rural abrange pastagem e agricultura, isto foi considerado com base em estudos similares já realizados com anfíbios (Boelter et al., 2022) e na capacidade de dispersão dos indivíduos (Cayuela et al., 2020). Adicionamos na classificação mosaico de uso e áreas úmidas.

Construímos um buffer de 500m ao redor de cada corpo d'água visando evitar a sobreposição espacial da paisagem entre os pontos amostrados (Figura 1). Dentro de cada buffer as coberturas de solo foram agrupadas conforme explicado acima e a paisagem foi categorizada como: florestal, rural ou urbana. Definiu-se como áreas urbanas os ambientes que estavam em uma paisagem com mais de 50% de uso de solo urbano dentro do buffer. As áreas rurais foram definidas em ambientes com menos de 10% de uso urbano e mais 50% da área do buffer coberta por plantações ou pastagens. Já as áreas florestais foram definidas quando mais de 50% da margem do corpo d'água estava localizado no borda da floresta e com mais 50% do buffer ocupado por vegetação florestal (modificado de McKinney, 2002). Todos os pontos foram minuciosamente inspecionados para validar a classificação. Neste processo, um local amostrado (intitulado

“golf”) foi recategorizado manualmente, devido a presença de 65,22% de mosaico de uso feita pela classificação automática do Qgis. A correção foi realizada sobrepondo imagens de satélite no HCMGIS para delimitar com precisão os limites da vegetação. Em seguida, a área foi recortada e reclassificada após a correção das porcentagens de coberturas de solo, sendo classificada como área florestal.

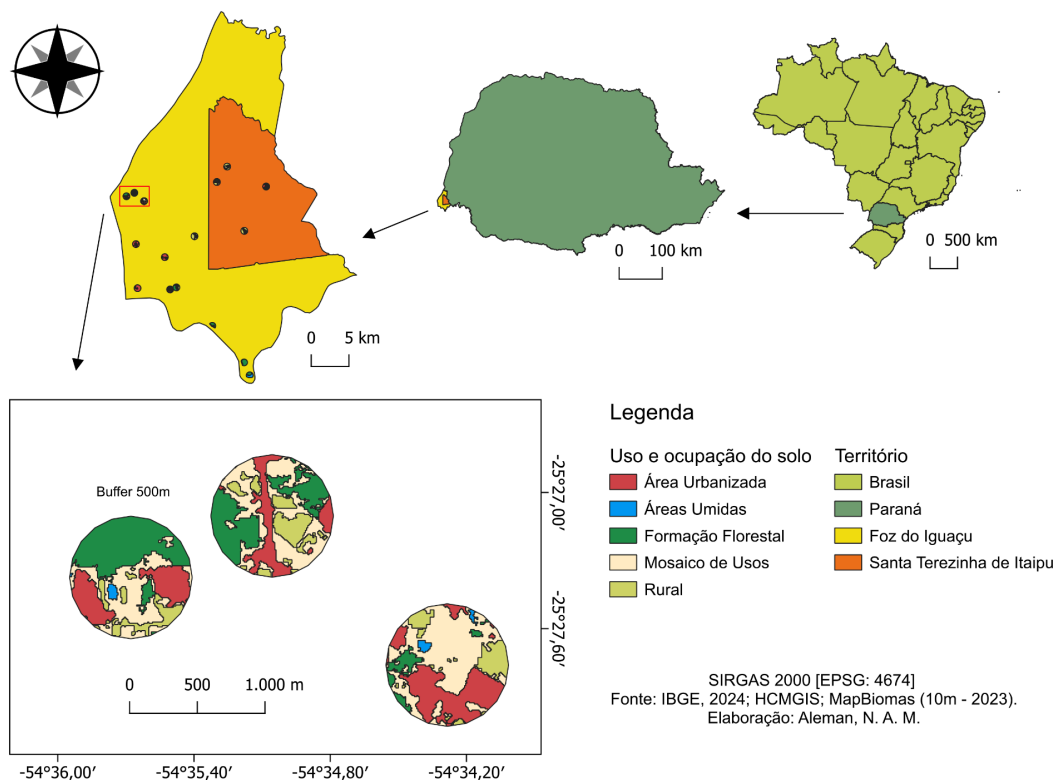


Figura 2 – Distribuição dos pontos de amostragem dos girinos de duas espécies de *Scinax* (Amphibia) no extremo oeste do Paraná, com detalhe nas classes de cobertura do uso de solo dentro dos buffers de 500 metros de raio ao redor dos corpos d’água amostrados.

Os girinos avaliados estavam entre os estágios de desenvolvimento 29 a 36 *sensu* Gosner (1960). Cada indivíduo selecionado foi fotografado em vista lateral. As imagens foram capturadas sempre com uma escala métrica para padronização. Os landmarks foram posicionados em pontos anatômicos homólogos usando o programa tpsDIG232 (Rohlf, 2013). No total foram definidos sete landmarks, posicionados da seguinte forma: ponto dorsal no corpo, ponto dorsal no meio da nadadeira, ponto no final da cauda, ponto ventral no meio da nadadeira, ponto ventral no corpo, ponto no focinho e

ponto no começo da musculatura caudal (Figura 3). A morfometria geométrica foi utilizada para permitir o isolamento dos efeitos de tamanho, posição e rotação na análise da variação na morfologia (Zelditch et al. 2012).

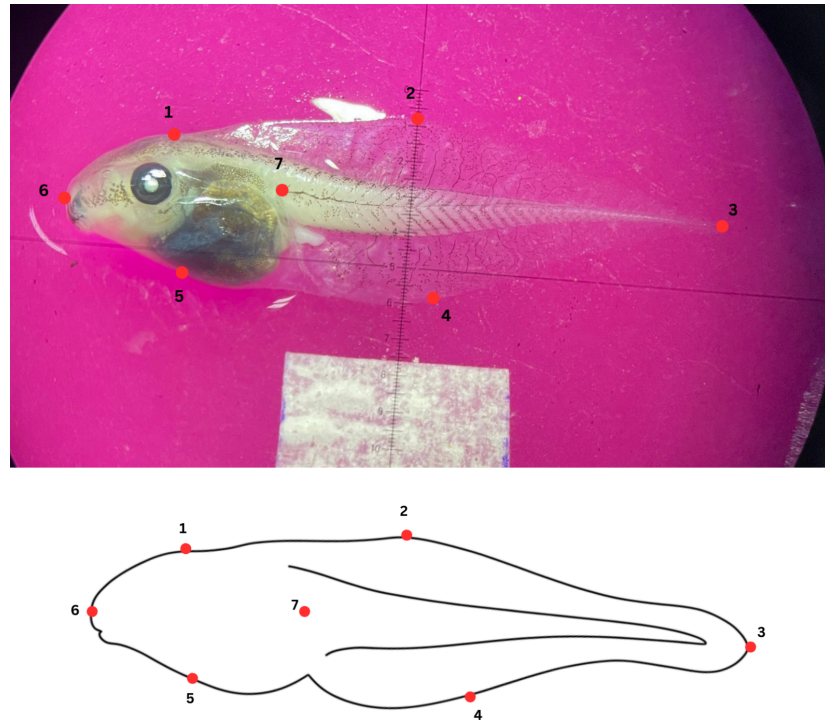


Figura 3 – Posição dos 7 landmarks em vista lateral em indivíduos do gênero *Scinax*.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Primeiramente verificamos que os dados de tamanho corporal das duas espécies de *Scinax* não apresentavam outlier e possuíam distribuição normal e homogeneidade de variância. Sendo assim, para avaliarmos se a cobertura do solo influencia o tamanho, realizamos uma ANOVA do tipo II, com dois fatores, o primeiro a espécie e o segundo fator a categoria de cobertura do solo. Esta análise foi escolhida por ser adequada para desenhos amostrais desbalanceados. A comparação entre as classes de cobertura de solo foi feita através do teste post-hoc de Tukey.

Para avaliar a variação morfológica de cada espécie dentro dos diferentes gradientes de uso e ocupação do solo, primeiramente realizamos a análise Procrustes ,

que elimina efeitos de translação, rotação e escala. Para comparar a variação morfológica usando a forma, obtida através da análise de Procrustes, aplicamos uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) separadamente para cada espécie, com o objetivo de testar se os centróides da forma diferem entre os diferentes tipos de uso do solo.

Para verificar se existe uma relação alométrica entre forma e tamanho, foi feita a Análise de Componentes Principais (PCA) das coordenadas obtidas por Procrustes, retendo os eixos que explicam 70% ou mais na variação total (Tabela 1). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Devido a ausência de normalidade, optou-se pela correlação de Spearman para as análises de alometria entre o tamanho e os eixos da PCA.

Tabela 1 – Percentual dos eixos que explicam mais do 70% da PCA de cada uma das duas espécies de *Scinax* (Amphibia) em função da cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná.

Espécies / %	<i>Scinax fuscovarius</i>	<i>Scinax squalirostris</i>
PC 1	41%	77,3%
PC 2	29%	16,2%
Total	70%	93,5%

Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2024) utilizando os pacotes geomorph (Baken et al., 2021), car (Fox & Weisberg, 2018), emmeans (Searle et al., 1980) e ggplot2 (Wickham, 2016). Todas as análises foram realizadas considerando um alfa de 5%.

4 RESULTADOS

Foram encontradas diferenças no tamanho das espécies *Scinax fuscovarius* e *S. squalirostris* entre os ambientes florestais, rurais e urbanos ($F_{2,192} = 4,28$; $P = 0,0151$) e, como era de se esperar, na comparação do tamanho entre as espécies ($F_{1,192} = 10,58$; $P = 0,0013$) e na interação entre espécie e uso do solo ($F_{2,192} = 12,34$; $P = 0,00009$) (Tabela 2). Em relação a cobertura do solo, os girinos de *S. fuscovarius* foram maiores no ambiente urbano que no rural, mas não diferiram no tamanho entre ambientes florestais e áreas urbanas e rurais (Figura 4). Já *S. squalirostris* os indivíduos da área rural foram menores que do ambiente urbano e florestal (Figura 4).

Tabela 2 – Comparação par-a-par do teste de Tukey relativo ao tamanho dos girinos entre cada uso de solo das duas espécies de *Scinax* (Amphibia) da região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná.

Comparações	Espécie	Estimativa	P
Florestal - Rural	<i>S. fuscovarius</i>	-0,301	0,175
Florestal - Urbano	<i>S. fuscovarius</i>	-0,529	0,002
Rural - Urbano	<i>S. fuscovarius</i>	-0,227	0,410
Florestal - Rural	<i>S. squalirostris</i>	0,835	0,00002
Florestal - Urbano	<i>S. squalirostris</i>	0,265	0,241
Rural - Urbano	<i>S. squalirostris</i>	-0,570	0,009

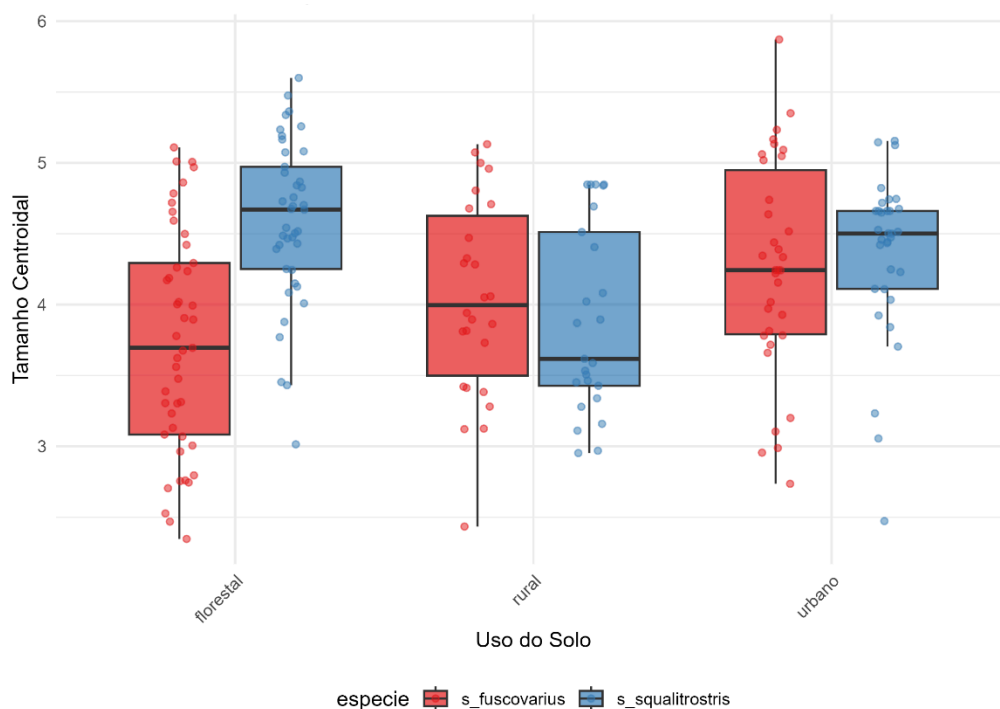


Figura 4 – Variação no tamanho dos girinos de duas espécies de *Scinax* (Amphibia) em função da cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná.

Foi verificado que a cobertura do solo influenciou a forma das duas espécies, explicando apenas 3,91% da variação na forma para *S. fuscovarius* ($P = 0,022$; Figura 5 e 6) e 4,91% para *S. squalirostris* ($P = 0,027$; Figura 5 e 7), indicando que a alteração da paisagem influencia a morfologia dos girinos.

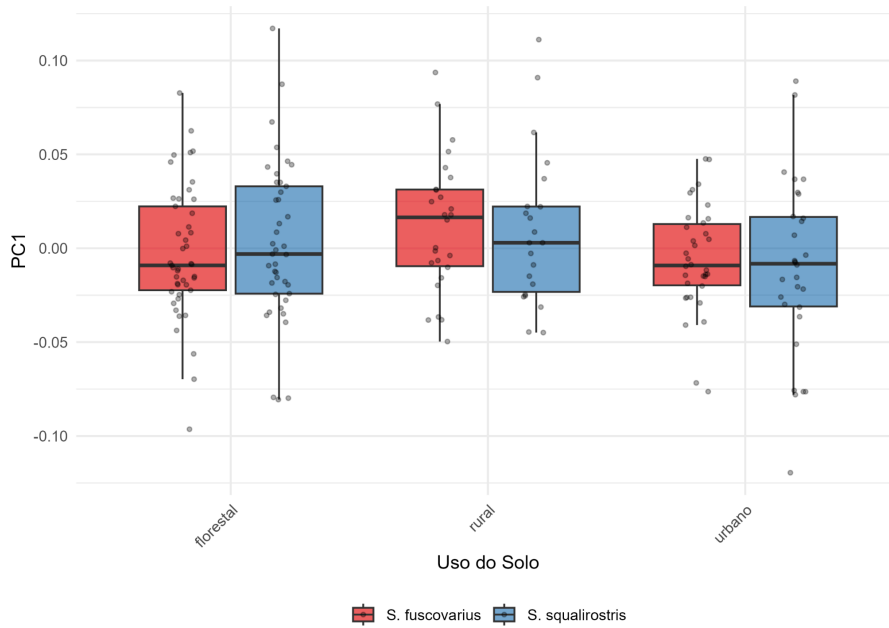


Figura 5 – Variação do formato do corpo de *Scinax fuscovarius* e *Scinax squalirostris* ao longo de um gradiente de cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná.

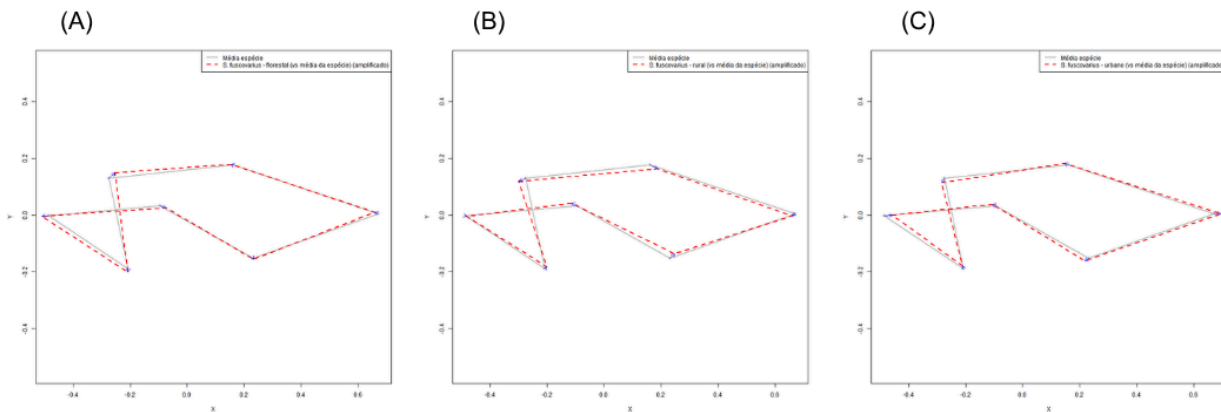


Figura 6 – Variação na forma de *Scinax fuscovarius* ao longo de um gradiente de cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná. A) Florestal; B) Rural; C) Urbano.

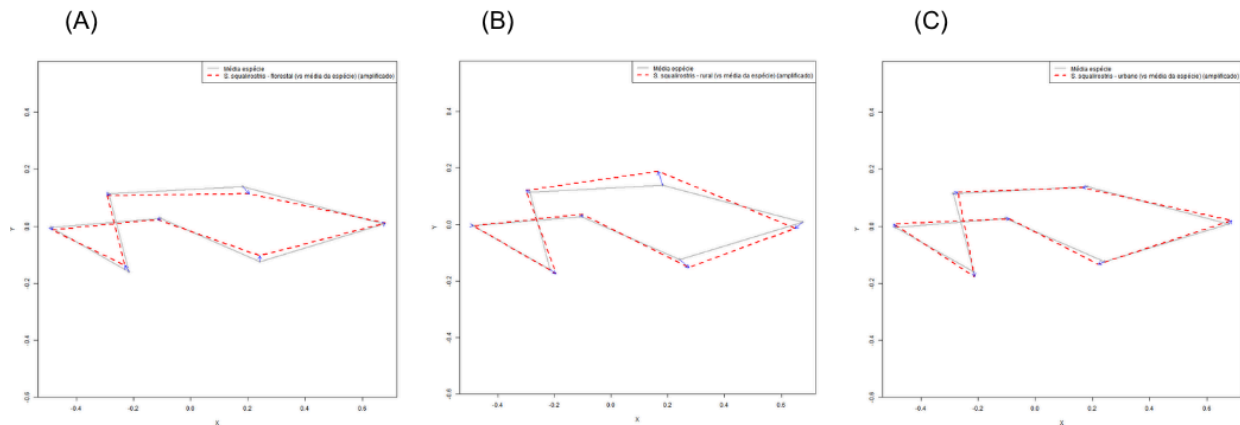


Figura 7 – Variação na forma de *Scinax squalirostris* ao longo de um gradiente de cobertura do solo na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná. A) Florestal; B) Rural; C) Urbano.

Verificamos que existe uma variação na morfometria geométrica dos girinos de *S. fuscovarius* (Figura 8) e *S. squalirostris* (Figura 9) ao longo do gradiente de cobertura do solo. Verificamos que a variação na forma do corpo de *S. fuscovarius* é mais restrita no ambiente urbano, sendo essa variação um subconjunto da variação observada na área rural, a qual se apresenta como um subconjunto da variação observada na área florestal (Figura 8). Já em *S. squalirostris* a variação na área urbana também foi menor, sendo um subconjunto, mas nesse caso da área florestal, a qual foi um subconjunto da variação observada na área rural (Figura 9). Por fim, evidenciamos a existência de uma alometria positiva entre a forma e o tamanho dos indivíduos de *S. fuscovarius* na área florestal ($r = 0,35$; $P = 0,0201$) e uma relação alométrica negativa nos indivíduos de *S. fuscovarius* ($r = -0,422$; $P = 0,013$) e *S. squalirostris* ($r = -0,41$; $P = 0,027$) na área urbana. Indivíduos de *S. fuscovarius* da área rural ($r = 0,08$; $P = 0,689$) e *S. squalirostris* da área florestal ($r = -0,26$; $P = 0,100$) e da área rural ($r = -0,023$; $P = 0,919$) não apresentaram relação alométrica.

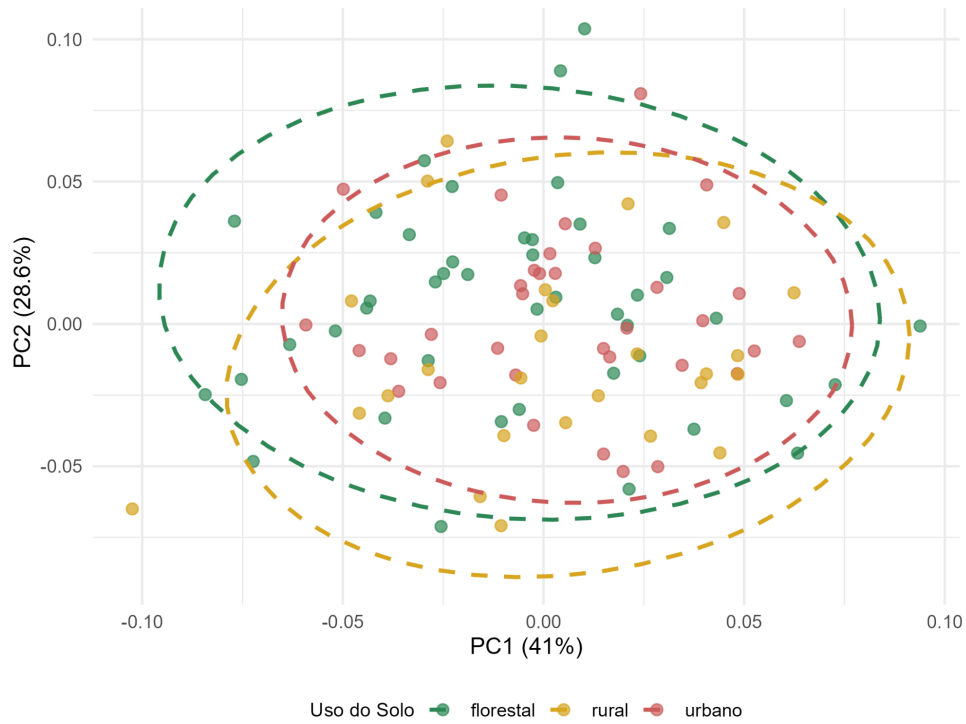


Figura 8 – Análise de Componentes Principais da matriz de morfometria geométrica em vista lateral dos girinos de *Scinax fuscovarius* coletados ao longo de um gradiente florestal-rural-urbano na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná.

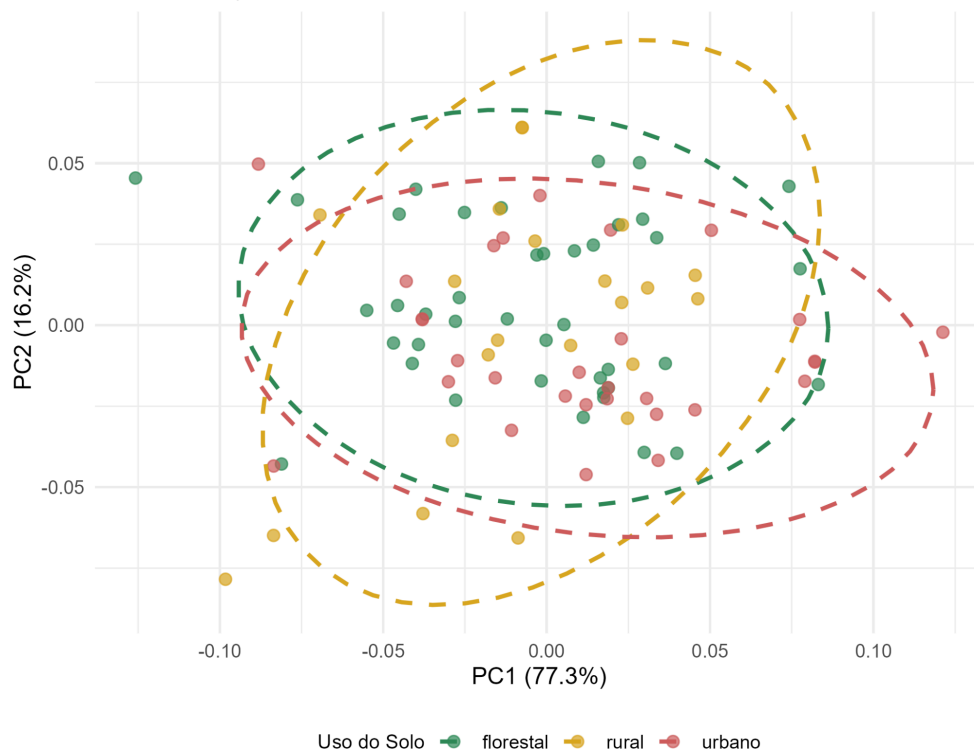


Figura 9 – Análise de Componentes Principais da matriz de morfometria geométrica em vista lateral dos

girinos de *Scinax squaleirostris* coletados ao longo de um gradiente florestal-rural-urbano na região de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná.

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo indicaram que tanto o tamanho, quanto a forma dos girinos de duas espécies de *Scinax* foram influenciados pela paisagem adjacente aos corpos d'água, embora de maneiras distintas. A cobertura do solo afetando a morfologia dos girinos corrobora com a hipótese da intensificação do uso do solo, principalmente através da urbanização expõem as populações a novos ambientes e pressões seletivas, influenciando a variação morfológica (Wehner et al., 2023). Estudos têm demonstrado que tais pressões como o aumento de temperatura e fragmentação da paisagem associados à urbanização, afetam tanto o tamanho corporal (Beasley et al., 2018) quanto à forma (Boelter et al., 2022). Uma vez que a conversão de habitats naturais em áreas urbanas, agrícolas ou pastagens alteram fatores bióticos e abióticos atuam sobre o crescimento, desenvolvimento e desempenho dos indivíduos (Puckett et al., 2020), é sugerido que as mudanças na cobertura do solo são um fator importante na modulação da variação morfológica dos girinos, podendo influenciar sua resposta ecológica e evolutiva em paisagens antropizadas.

O tamanho dos girinos de ambas espécies foi afetado pelo uso do solo, com diferenças significativas entre as categorias florestal, rural e urbana. Os girinos de *S. squalirostris* e os de *S. fuscovarius* foram maiores em ambientes urbanos do que em rurais. Esse padrão pode ser explicado pelo efeito ilha de calor urbana, que eleva a temperatura da água e tende a elevar os custos metabólicos dos organismos (Costa & Nomura, 2016; Nienmeier et al., 2019). Por exemplo, um estudo realizado com salamandras em riachos em áreas urbanas evidenciou que as temperaturas mais elevadas e a redução da competição intraespecífica encontradas em áreas urbanizadas podem resultar em crescimento mais acelerado e atingem maior tamanho durante a fase larval e juvenil (Barret et al., 2010). Contudo, no presente estudo não avaliamos as

interações intra e interespecíficas. Desta forma, esses achados sugerem que o tamanho corporal observado nos girinos de *Scinax* parecem responder às mudanças na paisagem, com a urbanização favorecendo indivíduos maiores. No entanto, outros fatores ambientais e características intrínsecas de cada espécie, como história de vida e grau de plasticidade fenotípica, podem modular as respostas das espécies.

Verificamos um efeito da paisagem circundante aos corpos d'água na forma dos girinos de *Scinax fuscovarius* e *S. squalirostris*, com uma maior integração morfo-ambiental em *S. squalirostris*, essa maior sensibilidade pode refletir uma maior plasticidade fenotípica da espécie, ajustando sua morfologia de forma mais acentuada em resposta às variações ambientais impostas pelos diferentes usos do solo (West-Eberhard, 1989; Miner et al., 2005), enquanto *S. fuscovarius* por ser uma espécie mais generalista e amplamente distribuída, pode apresentar uma resposta morfológica mais amortecida as alterações da paisagem. A seleção de habitats por anuros é influenciada por fatores abióticos, dentre os quais a temperatura e a qualidade da água figuram como elementos centrais, pois essas variáveis não apenas orientam a escolha dos locais de reprodução, mas também afetam diretamente a sobrevivência das larvas e a estruturação das comunidades de anuros (Valencia-Aguilar et al., 2016; Caballero-Gini et al., 2021). Estudos com *S. squalirostris* têm mostrado que os girinos são capazes de ajustar sua morfologia de acordo com as características ambientais do corpo d'água, as mudanças no uso do solo ao redor e a heterogeneidade da vegetação, esse ajustes morfológicos refletem respostas adaptativas às condições ambientais específicas, como maior ou menor disponibilidade de recursos, pressão de predação e qualidade de água (Marques et al., 2019; Boelter et al., 2022). Os resultados reforçam que a forma é um traço que responde às condições ambientais impostas pelos gradientes de cobertura do solo, e que mesmo espécies congêneras podem apresentar graus distintos de plasticidade

fenotípica.

Áreas urbanas restringiram a variação morfológica dos girinos, resultando em uma forma mais homogênea e convergente quando comparadas às áreas florestais e rurais. Esse padrão sugere que a urbanização pode atuar como uma pressão ambiental, selecionando determinados indivíduos capazes de suportar as alterações promovidas pelos ambientes urbanos tais como, qualidade da água, simplificação do habitat levando a remoção de vegetação, por ende redução de sítios de refúgio e aumento de temperatura pelo efeito ilha de calor, podem modificar as condições de desenvolvimento dos girinos e consequentemente contribuir para uma diferenciação morfológica entre populações (Costa & Nomura, 2016; Nienmeier et al., 2019). A redução da variabilidade morfológica em áreas urbanas pode ser explicada pela homogeneização ambiental típicas das cidades, que oferece menos nichos disponíveis e estabelece pressões seletivas favorecendo fenotipos mais adequados às condições urbanas (McKinney, 2006; Alberti, 2015). Em contraste, áreas com maior heterogeneidade ambiental, como florestas, podem oferecer maior diversidade de microhabitats, permitindo o desenvolvimento de diferentes morfologias, coexistindo e mantendo maior diversidade fenotípica (Marques et al., 2019). Estudos clássicos demonstram que condições ambientais, como a presença de predadores, podem induzir mudanças direcionais na morfologia dos girinos e essas variações estão sujeitas a ação da seleção natural, favorecendo fenótipos que aumentam a sobrevivência em diferentes gradientes ecológicos (Van Buskirk, et al., 1997).

Embora nossos resultados demonstram efeitos significativos da paisagem, sobre a morfologia dos girinos, algumas limitações devem ser consideradas. Fatores não medidos como qualidade da água, temperatura e disponibilidade de recursos e abrigo, características dos corpos d'água também podem atuar como variáveis que influenciam o desenvolvimento morfológico dos girinos e contribuir para padrões observados (Van

Buskirk, 2009). Mesmo com essas limitações, nosso estudo contribui para o entendimento e demonstração que respostas morfológicas conforme processos eco-evolutivos que atuam em paisagens antropizadas, e essas diferenças morfológicas podem refletir a plasticidade fenotípica observada em anuros, especialmente durante o estágio larval (Van Buskirk et al., 1997). Com isso fortalecemos e reforçamos a importância da conservação dos anfíbios em paisagens antropizadas da Mata Atlântica de interior.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo indicaram que o tamanho corporal e a forma, foram afetados pela paisagem circundante dos corpos d'água, com diferenças expressivas nas respostas das duas espécies estudadas. As mudanças no uso e ocupação do solo influenciaram a integração morfológica (forma e tamanho) dos girinos das duas espécies de *Scinax*. Este resultado relacionado com literatura mostra que a conversão de habitats naturais pode induzir mudanças morfológicas interespecíficas em características ecológicas relevantes de espécies persistentes (Van Buskirk et al, 1997; Marques et al., 2019b). Os resultados parecem apontar que as populações em áreas urbanas podem estar sujeitas a um fluxo gênico reduzido devido à fragmentação e ao isolamento dos corpos d' água, o que favorece a adaptação local, nesse contexto, as diferenças visualizadas em respostas de tamanho e forma dos girinos, sugerem que os processos co-evolutivos estão atuando em paisagens antropizadas, onde a seleção natural pode estar favorecendo fenótipos específicos que conferem maior aptidão em ambientes urbanos (Alberti, 2015; Brans et al., 2017). A morfologia diferencial observada entre as espécies e ao longo do gradiente de uso de solo pode refletir tanto respostas plásticas adaptativas quanto processos seletivos, que podem atuar em diferentes escalas temporais e espaciais (West-Eberhard, 1989; Miner et al., 2005). Dinâmicas eco-evolutivas em paisagens antropizadas devem ser consideradas estratégias de conservação, especialmente no contexto da Mata Atlântica do sul do Brasil, uma região altamente fragmentada e sujeita a pressões antrópicas.

REFERÊNCIAS

- Alberti, M. (2015). Eco-evolutionary dynamics in an urbanizing planet. *Trends in ecology & evolution*, 30(2), 114-126.
- Arnold, S. J. (1983). Morphology, performance and fitness. *American Zoologist*, 23(2), 347-361
- Aquino, L. (2024). Variação morfológica em anuros ao longo de gradientes ambientais: uma abordagem de morfometria geométrica. Universidade Federal do Paraná
- Baken, E. K., Collyer, M. L., Kaliontzopoulou, A., & Adams, D. C. (2021). geomorph v4. 0 and gmShiny: Enhanced analytics and a new graphical interface for a comprehensive morphometric experience. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(12), 2355-2363.
- Barrett, K., Helms, B. S., Samoray, S. T., & Guyer, C. (2010). Growth patterns of a stream vertebrate differ between urban and forested catchments. *Freshwater Biology*, 55(8), 1628-1635.
- Beasley, D. E., Penick, C. A., Boateng, N. S., Menninger, H. L., & Dunn, R. R. (2018). Urbanization disrupts latitude-size rule in 17-year cicadas. *Ecology and evolution*, 8(5), 2534-2541
- Bettencourt-Amarante, S., Abensur, R., Furet, R. (2025). Do human-induced habitat changes impact the morphology of a common amphibian, *Bufo bufo*?. *Urban Ecosyst* 28, 87
- Boelter, T., Moreira, L.F.B., Pires, M.M. (2022). Growing a fin: wetland and upland effects on tadpole morphology of *Scinax squalirostris* (Anura: Hylidae). *Zoomorphology* 141, 197–207
- Brans, K. I., Jansen, M., Vanoverbeke, J., Tüzün, N., Stoks, R., & De Meester, L. (2017). The heat is on: Genetic adaptation to urbanization mediated by thermal tolerance and body size. *Global change biology*, 23(12), 5218-5227.
- Caballero-Gini, A., Bueno-Villafañe, D., Ferreira, M., Romero, L., Cañete, L., Laino, R., ... & Silla, F. (2021). Seasonal habitat preferences and response to water quality parameters of tree frog species in a neotropical wetland. *Wetlands*, 41(5), 63.
- Carreira, S., Maneyro, R., & De Sá, R. (2016). Larval morphology of Neotropical amphibians: adaptations and diversity. *South American Journal of Herpetology*, 11(2), 125–139
- Cayuela, H., Valenzuela-Sánchez, A., Teulier, L., Martínez-Solano, Í., Léna, J. P., Merilä, J., ... & Schmidt, B. R. (2020). Determinants and consequences of dispersal in vertebrates with complex life cycles: a review of pond-breeding amphibians. *The Quarterly Review of Biology*, 95(1), 1-36.
- Conte, C. E., & Rossa-Feres, D. D. C. (2006). Diversidade e ocorrência temporal da anurofauna (Amphibia, Anura) em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23, 162-175.

Costa, R. N., Solé, M., & Nomura, F. (2017). Agropastoral activities increase fluctuating asymmetry in tadpoles of two neotropical anuran species. *Austral Ecology*, 42(7), 801–809.

Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401–406

Egea-Serrano, A., Relyea, R. A., Tejedo, M., & Torralva, M. (2012). Understanding of the impact of chemicals on amphibians: a meta-analytic review. *Ecology and Evolution*, 2(7), 1382–1397

Ellis, E. C. (2021). Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Anthropocene Review*, 8(1), 3–27

Eterovick, P. C., Souza, A. M., & Sazima, I. (2020). Anuran amphibians from the Serra do Cipó. *Gráfiön Estúdio Editorial, Brazil*.

Frost, D. R. (2020). *Amphibian species of the world: an online reference. Version 6.1. American Museum of Natural History, New York, USA*.

Fox, J., & Weisberg, S. (2018). *An R companion to applied regression*. Sage publications.

Gangenova, E., Zurita, G. A., & Marangoni, F. (2018). Changes to anuran diversity following forest replacement by tree plantations in the southern Atlantic forest of Argentina. *Forest ecology and management*, 424, 529–535.

Google Satellite. (2023). *Google Satellite Basemap*

Gonçalves, D. D. S., Conte, C. E., & Moura, M. O. (2014). Diversidade e chave de identificação para girinos ocorrentes em áreas de floresta com araucária.

Gonçalves, C. O. (2010). Morfometria geométrica aplicada à análise de variação morfológica em anfíbios anuros. Universidade Estadual Paulista

Guillot, G., Provete, D. B., & Nomura, F. (2016). Environmental drivers of morphological variation in Neotropical anurans. *Biological Journal of the Linnean Society*, 119(4), 841–856

Haddad, C. F. B., Toledo, L. F. & Prado, C. P. A. (2008). *Anfíbios da Mata Atlântica*. São Paulo, Editora Neotropica, 244 pp

Klingenberg, C. P. (2009). Morphometric integration and modularity in configurations of landmarks: tools for evaluating a priori hypotheses. *Evolution & Development*, 11(4), 405–421

Klingenberg, C. P. (2016). Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Development genes and evolution*, 226(3), 113–137.

Lopes, A. G. (2022). *Posição taxonômica de duas populações relacionadas à Scinax squalirostris (Lutz, 1925)(Anura: Hylidae)* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Magalhães, F. M. (2014). Variação morfológica e integração modular em anuros de ambientes heterogêneos. Universidade Federal de Minas Gerais

Marcelino, R. (2009). Plasticidade fenotípica e morfologia em girinos da Mata Atlântica. Universidade de São Paulo

Martins, L. A. (2009). Comportamento reprodutivo e social de *Scinax squalirostris* (Lutz, 1925)(Anura, Hylidae) sob influência de fatores ambientais.

Marques, N. C. S., Rattis, L., & Nomura, F. (2019). Local environmental conditions affecting anuran tadpoles' microhabitat choice and morphological adaptation. *Marine and Freshwater Research*, 70(3), 395-401

Marques, R., Provete, D. B., & Nomura, F. (2019). Environmental gradients shape anuran communities in Neotropical ecosystems. *Ecological Indicators*, 107, 105550

McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation*, 127(3), 247-260.

Medeiros, V. C. (2019). Morfometria geométrica aplicada à ecologia de comunidades de anfíbios anuros. Universidade Federal de Pernambuco

Merckx, T., Souffreau, C., Kaiser, A. *et al.* (2018). Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. *Nature* 558, 113–116

Miner, B. G., Sultan, S. E., Morgan, S. G., Padilla, D. K., & Relyea, R. A. (2005). Ecological consequences of phenotypic plasticity. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(12), 685–692

Mitteroecker, P., & Gunz, P. (2009). Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2), 235–247

Montaña, C. G., Winemiller, K. O., & Sutton, A. (2019). Morphological diversity of Neotropical tadpoles. *Copeia*, 107(1), 59–70

Moreira, L. F., da Silva, J. B., Knauth, D. S., Ribeiro, S., & Maltchik, L. (2020). Everyone has their limits: reproductive mode drives amphibian responses to land use in coastal areas. *Marine and Freshwater Research*, 72(3), 321-329.

Niemeier, M., Provete, D. B., & Nomura, F. (2019). Morphological indicators as tools for environmental assessment using anuran populations. *Ecological Indicators*, 104, 286–295

Pezzuti, T. L., Fernandes, I. R., Leite, F. S. F., De Sousa, C. E., Garcia, P. C. A., & Rossa-Feres, D. (2016). The tadpoles of the neotropical *Scinax catharinae* group (Anura, Hylidae): Ecomorphology and descriptions of two new forms. *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology*, 261, 22-32

Puckett, E. E., Sherratt, E., Combs, M., Carlen, E. J., Harcourt-Smith, W., & Munshi-South, J. (2020). Variation in brown rat cranial shape shows directional selection over 120 years in New York City. *Ecology and Evolution*, 10(11), 4739-4748.

Raine, N. E., Gill, R. J., & Leadbeater, E. (2018). Anthropogenic change and its impact on insect and amphibian biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 247–268

Searle, S. R., Speed, F. M., & Milliken, G. A. (1980). Population marginal means in the linear model: an alternative to least squares means. *The American Statistician*, 34(4), 216-221.

Quinzio, S. I., & Goldberg, J. (2021). Geographic variation in shape and size of anuran tadpoles: Interpopulation comparisons in *Scinax fuscovarius* (Anura, Hylidae). *Zoology*, 144, 125855.

Siqueira, T., & Rocha, C. F. D. (2013). Landscape ecology and anuran conservation in the Neotropics. *Biotropica*, 45(3), 269–278

Valencia-Aguilar, A., Toledo, LF, Vital, MV, & Mott, T. (2016). Estacionalidad, factores ambientales y comportamiento del huésped vinculados al riesgo de enfermedad en renacuajos que habitan en arroyos. *Herpetologica*, 72 (2), 98-106.

Van Buskirk, J. (2009). Natural variation in morphology of larval amphibians: Phenotypic plasticity, adaptation, and developmental constraints. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 312B(6), 575–588

Van Buskirk, J., McCollum, S. A., & Werner, E. E. (1997). Natural selection for environmentally induced phenotypes in tadpoles. *Evolution*, 51(6), 1983-1992.

Wells, K. D. (2019). The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago press

Wehner, K., Brandt, M., Hilpert, A., Simons, N. K., & Blüthgen, N. (2023). Little evidence for land-use filters on intraspecific trait variation in three arthropod groups. *Web Ecology*, 23(1), 35-49

West-Eberhard, M. J. (1989). Phenotypic plasticity and the origins of diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 249–278

Wickham, H. (2016). Data analysis. In *ggplot2: elegant graphics for data analysis* (pp. 189-201). Cham: Springer international publishing.

Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature communications*, 12(1), 2501.

Zelditch, M., Swiderski, D., & Sheets, H. D. (2012). Geometric morphometrics for biologists: a primer. academic press