



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**



**MICRONÚCLEOS EM PEQUENOS MAMÍFEROS NÃO-
VOADORES NO BIOMONITORAMENTO AMBIENTAL DE
FRAGMENTOS FLORESTAIS DO CERRADO**

Thiago Henrique Francisco da Silva

Uberlândia – MG

Setembro – 2025

Thiago Henrique Francisco da Silva

**MICRONÚCLEOS EM PEQUENOS MAMÍFEROS NÃO-
VOADORES NO BIOMONITORAMENTO AMBIENTAL DE
FRAGMENTOS FLORESTAIS DO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências
para obtenção do título de Licenciado
em Ciências Biológicas

Orientadora:

Profa. Dra. Natália Oliveira Leiner

Coorientador:

Dr. Paulo Vitor Alves Ribeiro

Uberlândia – MG

Setembro – 2025

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero expressar o quanto me sinto privilegiado por, desde o início dessa caminhada, ter estado cercado de pessoas incríveis, que sempre me impulsionaram e estiveram dispostas a fazer o possível e o impossível para me ajudar a chegar até aqui. Agradeço aos meus pais, Adriana Cristina da Silva e Luciomario José Francisco, pois sem a base, o carinho e a fé que depositaram em mim, nada disso seria possível. Amo vocês, papai e mamãe.

Durante essa jornada, conheci pessoas especiais que contribuíram de diferentes formas para a minha formação. Em especial, agradeço aos meus companheiros de curso Bhrenda Carolliny Guardieiro Jesus, Kelvin Oliveiras dos Santos, Julia Ribeiro Santiago, Gabriel Siqueira Cunha e Diego Batista Santana Gomes. Vocês se tornaram os melhores amigos de curso que eu poderia ter, e sou imensamente grato por cada risada, trabalho em grupo e pelas vivências que compartilhamos no dia a dia.

Agradeço à minha namorada, Maria Eduarda Santana Costa, a melhor pessoa que poderia estar ao meu lado nessa trajetória, especialmente na fase final, quando foi minha leitora e revisora particular em tempo integral.

Agradeço aos meus orientadores Dra. Natália Oliveira Leiner e Dr. Paulo Vitor Alves Ribeiro, pela dedicação e comprometimento para me auxiliarem a concluir esse trabalho. Agradeço a presença da banca avaliadora, composta pela Dra. Celine de Melo e o Dr. Marco Miguel de Oliveira, tanto pela disponibilidade para apresentação e o compartilhamento dos seus conhecimentos e experiências pessoais para refinamento do trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer ao CPNq, por financiar os meus 12 meses de bolsa de iniciação científica e ao PELD por financiar os trabalhos de campo, sem isso, seria impossível a publicação deste e de futuros trabalhos.

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT	4
INTRODUÇÃO	5
MATERIAIS E MÉTODOS	7
RESULTADOS	11
DISCUSSÃO	13
CONCLUSÃO	14
REFERÊNCIAS	15

RESUMO

Pequenos mamíferos são modelos eficazes para o biomonitoramento ambiental devido à sua sensibilidade à exposição a contaminantes. Dentre as técnicas de biomonitoramento, o teste de micronúcleos se destaca por detectar pequenas inclusões em eritrócitos, indicando efeitos genotóxicos decorrentes da exposição a xenobióticos. O objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que animais capturados em áreas mais urbanizadas apresentariam maior quantidade de micronúcleos. Foram capturados 138 indivíduos de *Rhipidomys macrurus* e 64 de *Gracilinanus agilis* em quatro fragmentos de Cerrado: duas áreas rurais (Fazenda Água Fria e Reserva do Panga) e duas periurbanas (Fazenda São José e Fazenda do Glória). Amostras de sangue foram coletadas e analisadas para contagem de micronúcleos em microscopia óptica. Observou-se que 102 (73,9%) indivíduos de *Rhipidomys macrurus* apresentaram micronúcleos, sendo 25 indivíduos (69,4%) de áreas rurais, com média de $1,36 \pm 1,26$ micronúcleos e 77 indivíduos (75,5%) de áreas periurbanas com média de $3,69 \pm 3,35$. Para *Gracilinanus agilis*, 47 (77,0%) indivíduos apresentaram micronúcleos, sendo nove (69,2%) pertencentes a áreas rurais com média de $1,84 \pm 1,77$ e 38 (79,1%) periurbanos com média de $3,04 \pm 2,45$ micronúcleos. Enquanto houve maior quantidade de micronúcleos para *R. macrurus* em áreas periurbanas do que rurais, o mesmo não se repetiu em *G. agilis*. Em conclusão, o teste de micronúcleos mostrou-se uma ferramenta eficiente para o biomonitoramento em *Rhipidomys macrurus*, confirmando a associação entre o nível de urbanização e o aumento da genotoxicidade. A ausência de resultados significativos em *Gracilinanus agilis* sugere uma resposta diferenciada da espécie aos contaminantes ambientais, o que pode estar relacionado a fatores ecológicos como dieta e comportamento, que influenciam sua exposição.

Palavras-chave: Bioacumulação; Conservação; Ecotoxicologia; Urbanização.

ABSTRACT

Small mammals are effective models for environmental biomonitoring due to their sensitivity to contaminant exposure. Among biomonitoring techniques, the micronucleus test stands out for detecting small inclusions in erythrocytes, indicating genotoxic effects resulting from exposure to xenobiotics. The aim of this study was to test the hypothesis that animals captured in more urbanized areas would exhibit a higher number of micronuclei. A total of 138 individuals of *Rhipidomys macrurus* and 64 of *Gracilinanus agilis* were captured in four Cerrado remnants: two rural areas (Fazenda Água Fria and Reserva do Panga) and two peri-urban areas (Fazenda São José and Fazenda do Glória). Blood samples were collected and analyzed for micronucleus counts under optical microscopy. It was observed that 102 (73.9%) individuals of *Rhipidomys macrurus* presented micronuclei, 25 (69.4%) from rural areas, with a mean of 1.36 ± 1.26 and 77 individuals (75.5%) from peri-urban areas with a mean of 3.69 ± 3.35 . For *Gracilinanus agilis*, 47 (77.0%) individuals presented micronuclei, nine (69.2%) from rural areas with a mean of 1.84 ± 1.77 and 38 (79.1%) from peri-urban areas with a mean of 3.04 ± 2.45 . The number of micronucleus was higher in peri-urban than rural areas for *R. macrurus*, although we failed to any difference for *G. agilis*. In conclusion, the micronucleus test proved to be an effective tool for biomonitoring in *Rhipidomys macrurus*, confirming the association between urbanization level and increased genotoxicity. The lack of association in *Gracilinanus agilis* suggests a species-specific response to environmental contaminants, which may be related to ecological factors such as diet and behavior that influence exposure.

Keywords: Bioaccumulation; Conservation; Ecotoxicology; Urbanization

INTRODUÇÃO

O avanço contínuo das atividades antrópicas e o uso indiscriminado de recursos naturais têm desencadeado alterações significativas nos ecossistemas, resultando na crescente exposição de organismos silvestres a uma gama diversa de contaminantes ambientais. Nesse cenário de crescente degradação, o biomonitoramento emerge como uma ferramenta indispensável para a avaliação dos impactos da poluição e das pressões humanas sobre a biodiversidade. Esta abordagem científica emprega organismos vivos como indicadores sensíveis das condições ambientais, permitindo a detecção precoce de mudanças na qualidade do habitat e a avaliação de riscos ecológicos e à saúde pública (Sandoval-Herrera *et al.*, 2023). A utilização de biomonitores oferece uma visão mais integrativa dos efeitos da poluição, refletindo a exposição crônica e as respostas biológicas dos organismos ao ambiente (Adam *et al.*, 2022).

Entre os diversos grupos de animais empregados em programas de biomonitoramento, os pequenos mamíferos não-voadores, incluindo roedores e marsupiais, destacam-se como biomonitores para a avaliação de impactos locais da poluição (Jota Baptista *et al.*, 2022). Sua eficácia reside em características biológicas específicas, como a elevada abundância, curto tempo de vida, altos ritmos metabólicos e alimentação intensiva, o que os torna sensíveis e capazes de refletir a poluição ambiental local (Talmage; Walton, 1991). Além disso, a sua suscetibilidade à exposição a contaminantes – seja por meio da respiração, ingestão de alimentos, água ou contato direto com o solo – confere-lhes uma sensibilidade para monitorar alterações ambientais, especialmente em contextos de perturbação humana (Calao-Ramos *et al.*, 2021; Sandoval-Herrera *et al.*, 2021; Adam *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2023).

Para avaliar os danos genotóxicos induzidos por esses contaminantes, o teste de micronúcleos (MN) é uma ferramenta eficaz e amplamente utilizada no biomonitoramento ambiental. Os micronúcleos são pequenas inclusões citoplasmáticas arredondadas e basofílicas que se originam de fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que não são corretamente incorporados ao núcleo principal durante a anáfase da divisão celular, devido a falhas no fuso mitótico ou quebras cromossômicas (Calao-Ramos *et al.*, 2021). Sua presença em eritrócitos é, portanto, um marcador confiável, de baixo custo e fácil aplicação para a detecção de instabilidade cromossômica, danos no DNA e exposição a agentes mutagênicos e genotóxicos (Sandoval-Herrera *et al.*, 2023). Diversos estudos já demonstraram a aplicabilidade e sensibilidade da metodologia de micronúcleos em diferentes grupos animais e contextos de poluição. Em

mamíferos, por exemplo, o teste de micronúcleos tem sido aplicado com sucesso em morcegos para avaliar danos genotóxicos associados à atividade agrícola, indicando uma resposta biológica direta à exposição a pesticidas e outros agrotóxicos (Sandoval-Herrera *et al.*, 2021). Nesse sentido, Adam *et al.*, 2022 também utilizaram o teste de micronúcleos em morcegos na Caatinga, correlacionando o dano ao DNA com a vulnerabilidade ambiental de áreas sob impacto de plantações de cana-de-açúcar. Em aves, outro grupo de vertebrados importantes para o biomonitoramento, a pesquisa de Baesse *et al.*, (2019) demonstrou a relação entre a frequência de micronúcleos e a poluição atmosférica em ambientes urbanos, em comparação com áreas conservadas, evidenciando a capacidade do teste de micronúcleos em refletir os efeitos da qualidade do ar sobre a saúde dos indivíduos. Tais exemplos reforçam que a formação de micronúcleos está diretamente relacionada à exposição a xenobióticos e poluentes ambientais, consolidando-o como um biomarcador robusto para a avaliação de genotoxicidade em ecossistemas sob pressão antrópica.

Neste trabalho, as espécies estudadas são o roedor *Rhipidomys macrurus* (Gervais, 1855), conhecido popularmente como rato-da-árvore, e o marsupial *Gracilinanus agilis* (Burmeister, 1854), a cuíca graciosa. Ambas são espécies de pequenos mamíferos não-voadores nativas e amplamente distribuídas no bioma Cerrado (Geise *et al.*, 2009). *Rhipidomys macrurus* é um roedor de hábito primariamente arbóreo, frequentemente encontrado em áreas de mata e fragmentos florestais de Cerrado (Carvalho *et al.*, 2012). Sua dieta, predominantemente frugívora e granívora, o torna particularmente exposto a contaminantes presentes em frutos, sementes e vegetação foliar, bem como via contato com o solo e inalação. *Gracilinanus agilis* é um pequeno marsupial didelfídeo, de hábitos noturnos e semi-arbóreos, com dieta onívora, incluindo insetos, pequenos vertebrados e frutos (Carmignotto *et al.*, 2012). A sua presença em diferentes micro-habitats dentro dos fragmentos florestais e a diversidade em sua dieta também o expõem a uma variedade de fontes de contaminação. Ambas as espécies apresentam um ciclo de vida relativamente curto e reduzida mobilidade em escala de paisagem, respondem rapidamente a alterações ambientais locais, tornando-as adequadas para estudos de biomonitoramento genético em seus respectivos ambientes.

O Cerrado, reconhecido como uma das savanas mais biodiversas do mundo e um *hotspot* de biodiversidade (Damasco *et al.*, 2018; Pereira; Coneglian, 2019), é também um dos ecossistemas brasileiros mais ameaçados. A expansão urbana desordenada, o desmatamento para a formação de pastagens e áreas agrícolas, e o uso intensivo da terra

com aplicação de defensivos agrícolas são fatores que intensificam a fragmentação do habitat e a exposição da fauna local a diversos contaminantes ambientais. Essa pressão antrópica sobre os fragmentos de Cerrado torna essencial o monitoramento dos seus efeitos biológicos sobre a fauna silvestre, especialmente sobre organismos biomonitores como os pequenos mamíferos que habitam esses locais e que estão na base de muitas cadeias tróficas.

A hipótese central deste estudo é que indivíduos das espécies *Rhipidomys macrurus* e *Gracilinanus agilis*, quando capturados em áreas com maior grau de urbanização e perturbação antrópica, apresentam maior quantidade de micronúcleos, em comparação com indivíduos provenientes de áreas mais preservadas. Para testar essa hipótese, o objetivo principal deste trabalho é avaliar e comparar a frequência de micronúcleos em eritrócitos de *Rhipidomys macrurus* e *Gracilinanus agilis* coletados em diferentes fragmentos florestais de Cerrado com distintos níveis de urbanização.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado a partir da análise de dados coletados previamente em campo no período de 2019 a 2020 em áreas de Cerrado na região do Triângulo Mineiro. Essas coletas foram realizadas por meio de projetos financiados pelo Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), fomentado pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (CNPq), sendo executados pela equipe do Laboratório de Ecologia de Mamíferos da Universidade Federal de Uberlândia.

Aspectos éticos

Todos os procedimentos de campo e coleta foram realizados em conformidade com as diretrizes éticas e ambientais vigentes. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética na Utilização de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), sob o número de protocolo 041/19. A captura dos animais e a condução do projeto foram autorizadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) através do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), com licença de protocolo 22692-1.

Áreas de estudo

O estudo foi conduzido em quatro fragmentos florestais do bioma Cerrado, localizados no Triângulo Mineiro. As áreas selecionadas foram: Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Panga (PAG), Fazenda Água Fria (AGF), Fazenda Experimental do Glória (GLO) e Fazenda São José (SJO). As características e localização de cada área de estudo estão detalhadas na Tabela 1, incluindo zona de localização (rural ou periurbana), município, coordenadas geográficas, tamanho e a distância da cidade mais próxima. PAG e GLO, são propriedades da UFU, enquanto a SJO e AGF são áreas particulares. Todas as áreas compartilham o clima regional, caracterizado como sazonal (tipo Aw), com estações seca e chuvosa bem definidas. A estação chuvosa ocorre tipicamente de novembro a abril, concentrando aproximadamente 80–90 % da precipitação anual — cerca de 1.266 mm —, especialmente em dezembro e janeiro (Santos, 2015). Em contraste, a estação seca se estende de maio a outubro, com os meses de junho a agosto apresentando os menores volumes de chuva (menos de 3% do total anual). A precipitação média anual varia entre 1.700 e 1.900 mm, e a temperatura média anual na região gira em torno de 16–20 °C. No bioma Cerrado, as temperaturas podem atingir até 40°C na primavera e cair a cerca de 10°C ou menos nos meses mais frios (Novaes; Brito; Sanches, 2018).

Tabela 1: Localização das áreas de estudo e características: zona de localização, município, coordenadas geográficas, tamanho em hectares (ha), distância da borda da cidade mais próxima em quilômetros (km).

Áreas de estudo	Zona de localização	Município das áreas	Coordenadas geográficas	Tamanho das áreas	Distância da cidade
AGF	Rural	Araguari	18°29'S; 48°23'O	200 ha	26,3 km
PAG	Rural	Uberlândia	19°11'S; 48°24'O	200 ha	27,0 km
GLO	Periurbana	Uberlândia	18°57'S; 48°12'O	30 ha	0,92 km
SJO	Periurbana	Uberlândia	18°51'S; 48°13'O	20 ha	0,73 km

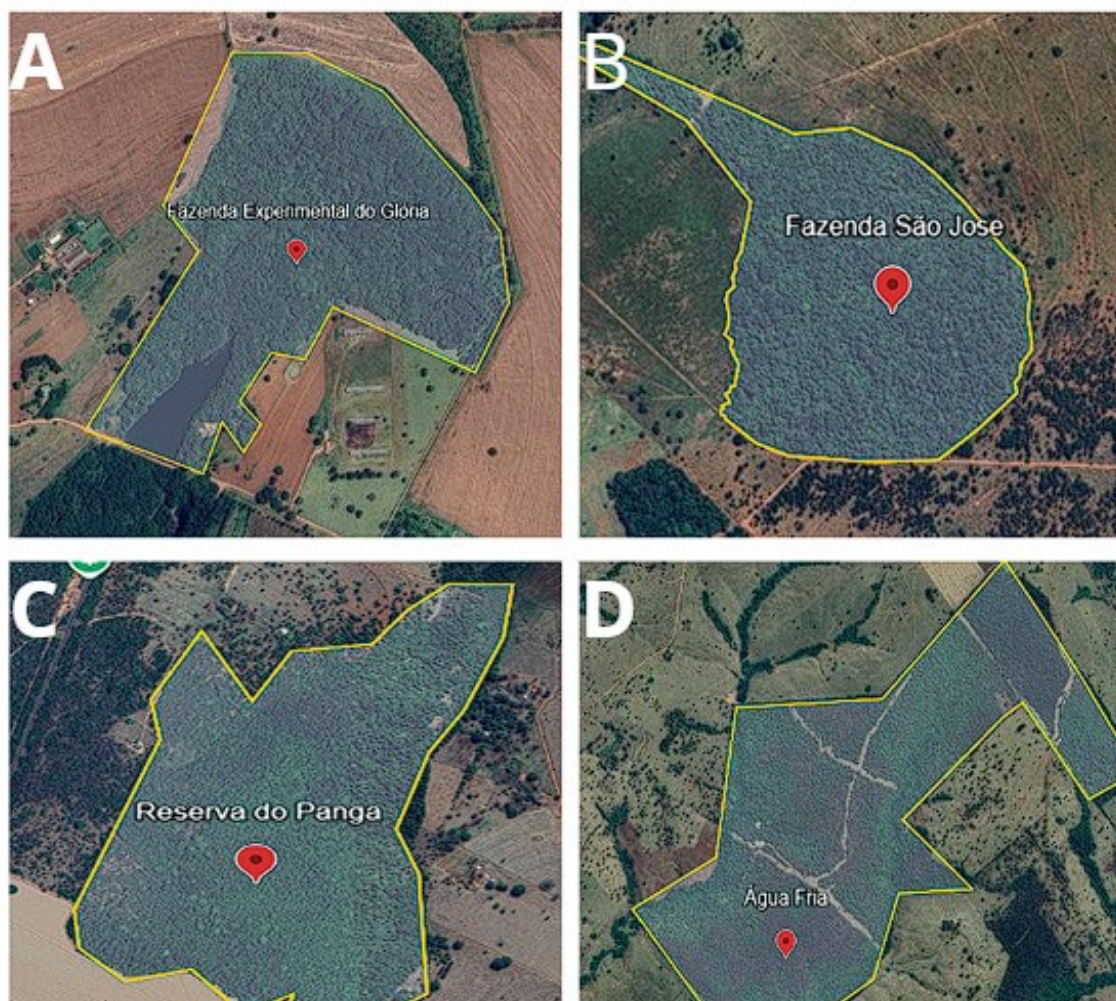


Figura 1: Imagens via satélite das regiões de estudo (Google Earth). Sendo as áreas periurbanas (A e B) A: Fazenda experimental do Glória e B: Fazenda São José (Uberlândia - MG), e as áreas rurais (C e D). C: Reserva do Panga (Uberlândia - MG), D: Água Fria (Araguari – MG).

Procedimentos de campo

As campanhas de campo para a captura dos indivíduos de *Rhipidomys macrurus* e *Gracilinanus agilis* ocorreram entre 2019 e 2020. Em cada uma das quatro áreas, foram conduzidas duas campanhas na estação seca e duas na estação chuvosa. Para a captura, foram utilizadas armadilhas Sherman de diferentes tamanhos (25x8x9 cm, 31x8x9 cm e 43x12,5x14,5 cm), dispostas em cinco transectos de 80 m cada. Em cada transecto, foram instalados oito pontos de captura (total de 80 armadilhas) os pontos ficavam separados por distâncias equidistantes de 20 metros, neles foram dispostas duas armadilhas por ponto: uma fixada em árvore a 1,5–2 m de altura e outra no solo. As armadilhas foram

iscadas com uma mistura de paçoca, banana e aveia e inspecionadas diariamente durante cinco manhãs consecutivas (Oliveira, 2022).

Os animais capturados foram manipulados com luvas e sacos de contenção e sedados com uma combinação de Cetamina e Xilazina, com a dose ajustada de acordo com o peso e táxon de cada indivíduo. A identificação taxonômica foi realizada em campo por meio de caracteres morfológicos externos, com a identificação dos roedores posteriormente confirmada em laboratório (Bonvicino; De Oliveira; D'Andrade, 2008).

A coleta de sangue foi realizada por punção da veia caudal e/ou tarsal. Após a coleta, o local da punção foi limpo com algodão e levemente pressionado. Os animais foram marcados com brincos de latão numerados e liberados no mesmo ponto de captura (Oliveira, 2022). Para a confecção das extensões sanguíneas, uma gota de sangue foi coletada com um tubo capilar e disposta em uma lâmina de vidro. Imediatamente, uma segunda lâmina foi posicionada em um ângulo de 45° e deslizada em um movimento rápido e uniforme para espalhar a amostra, criando um esfregaço homogêneo (De Carli, 2001). Foram preparadas três extensões sanguíneas para cada animal. As lâminas secaram ao ar livre em temperatura ambiente e foram fixadas com metanol ainda em campo.

Procedimentos laboratoriais e análises das extensões sanguíneas

Em laboratório, as extensões sanguíneas foram coradas com Panótico Rápido® (Loreclin, Brasil) em cuba de coloração. As análises foram conduzidas em microscopia óptica sob aumento de 1000x utilizando óleo de imersão. Foram contabilizados 10.000 eritrócitos por indivíduo. Os micronúcleos foram identificados e quantificados. Para identificação seguiu-se os critérios de Schmid (1976): estruturas ovais, pequenas e basofílicas dentro dos eritrócitos.

Análises estatísticas

Para verificar se houve diferença na quantidade de micronúcleos entre as zonas de localização das áreas de estudo (rurais e periurbanas) foram realizados os testes estatísticos: *t* de Student (Student, 1908) e U de Mann-Whitney. As análises foram precedidas de testes de normalidade e realizadas no software GraphPad Prism 9.0 e conduzidas a um nível de significância de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Foram examinados 199 indivíduos, sendo 49 de áreas rurais e 150 de áreas periurbanas. Quanto às espécies, foram analisados 138 indivíduos de *Rhipidomys macrurus* e 61 de *Gracilinanus agilis*, sendo 36 e 13 de áreas rurais e 102 e 48 de áreas periurbanas, respectivamente (Tabela 2). Observou-se que 149 (74,8%) indivíduos apresentaram micronúcleos (Figura 2), sendo 34 (69,3%) de áreas rurais, com média de $1,48 \pm 1,41$ micronúcleos, e 115 indivíduos (76,6%) de áreas periurbanas, com média de $3,48 \pm 3,10$ micronúcleos. Em relação às espécies, 102 (73,9%) indivíduos de *Rhipidomys macrurus* apresentaram micronúcleos, sendo 25 (69,4%) de áreas rurais, com média de $1,36 \pm 1,26$, e 77 indivíduos (75,5%) de áreas periurbanas, com média de $3,69 \pm 3,35$. Para *Gracilinanus agilis*, 47 (77,0%) indivíduos apresentaram micronúcleos, sendo nove (69,2%) rurais, com média de $1,84 \pm 1,77$, e 38 (79,1%) periurbanos, com média de $3,04 \pm 2,45$ (Tabela 2).

Houve diferença estatística significativa na quantidade de micronúcleos entre áreas rurais e periurbanas para *Rhipidomys macrurus* ($U = 1090$, $p = 0,0002$, Figura 3). No entanto, não houve diferença na quantidade de micronúcleos entre as áreas rurais e urbanas para os indivíduos de *Gracilinanus agilis* ($t=1,638$, $df=59$, $p=0,1068$, Figura 3).

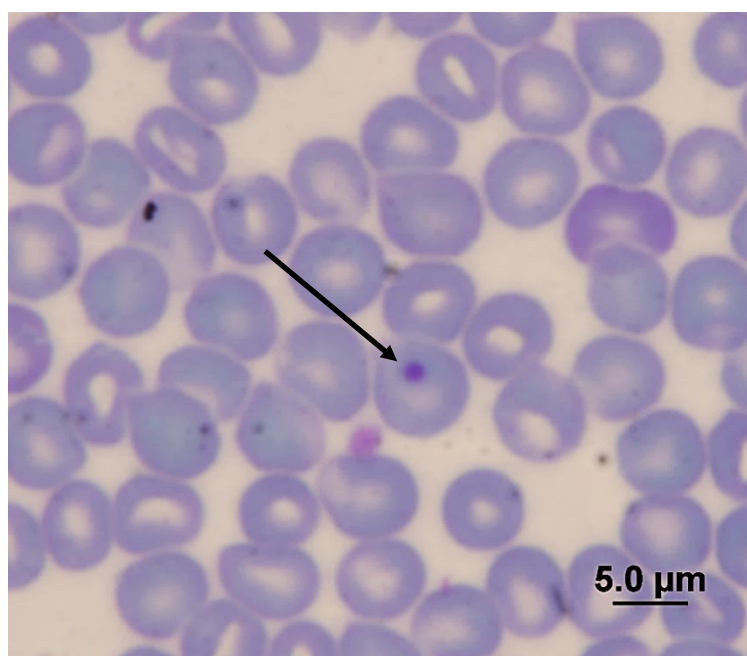


Figura 2. Fotomicrografia de um micronúcleo encontrado em eritrócito (apontado pela seta) de um indivíduo de *Rhipidomys macrurus* proveniente do fragmento florestal da Fazenda Experimental do Glória.

Tabela 2. Médias (\bar{X}) e desvios-padrão (DP) da quantidade de micronúcleos encontrada nos indivíduos de *Rhipidomys macrurus* e *Gracilinanus agilis*, incluindo o número amostral (n) e a ocorrência de micronúcleos (%) de acordo com o tipo de área (rural ou periurbana).

Espécies	Áreas			
	Rurais		Periurbanas	
	$\bar{x} \pm DP$	n (%)	$\bar{x} \pm DP$	n (%)
<i>Rhipidomys macrurus</i>	1,36 \pm 1,26	36 (69,4%)	3,69 \pm 3,35	102 (75,5%)
<i>Gracilinanus agilis</i>	1,84 \pm 1,77	13 (69,2%)	3,04 \pm 2,45	48 (79,1%)
Total	1,48 \pm 1,41	49 (69,3%)	3,48 \pm 3,10	150 (76,6%)

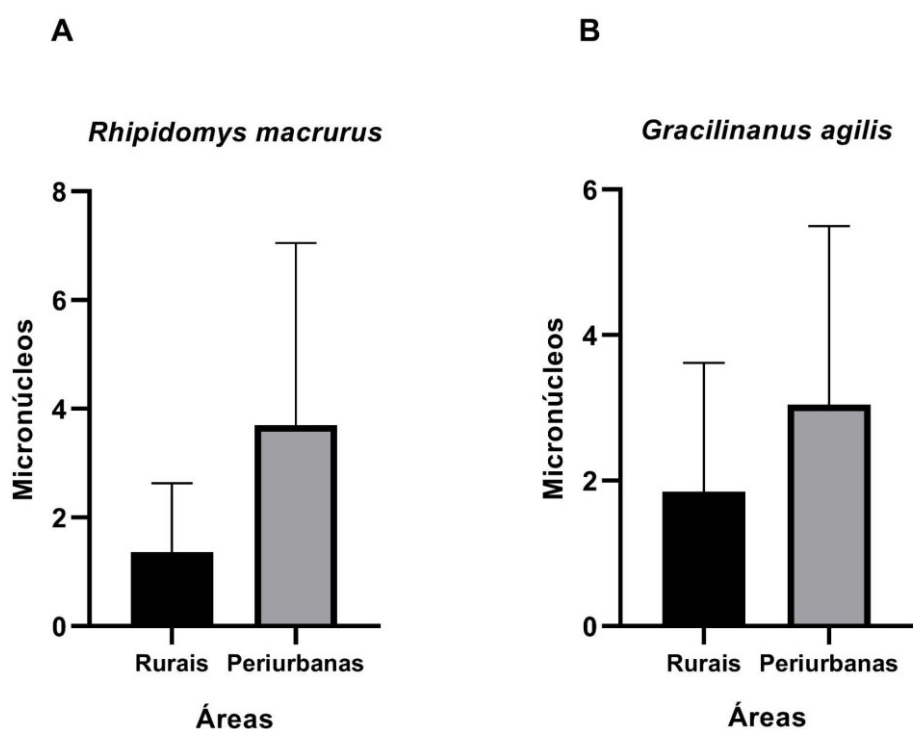


Figura 3. Quantidade de micronúcleos dos indivíduos de *Rhipidomys macrurus* (A) e *Gracilinanus agilis* (B) de acordo com o tipo de área (rural ou periurbana). Os retângulos representam as médias e as barras os desvios-padrão.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para *Rhipidomys macrurus* corroboram a hipótese central deste estudo, que propôs uma maior quantidade de micronúcleos em indivíduos provenientes de áreas com maior nível de urbanização e perturbação antrópica. As áreas periurbanas (Fazenda do Glória e Fazenda São José) apresentaram as maiores médias de micronúcleos, com diferença estatisticamente significativa em relação às áreas rurais (Fazenda Água Fria e Reserva do Panga). Este achado é consistente com a literatura, que aponta o teste de micronúcleos como uma ferramenta eficaz de biomonitoramento para detectar danos genotóxicos em mamíferos silvestres expostos a poluentes ambientais em paisagens fragmentadas por atividades humanas (Adam *et al.*, 2022; Sandoval-Herrera *et al.*, 2021).

Os valores encontrados de micronúcleos nos indivíduos de *Rhipidomys macrurus* da Fazenda do Glória sugerem uma exposição mais intensa a agentes genotóxicos associados à poluição urbana e periurbana. Poluentes atmosféricos, metais pesados, pesticidas e outros xenobióticos, provenientes do tráfego, indústrias e resíduos domésticos, podem ter contribuído para a indução de danos genéticos, refletidos pela formação de micronúcleos nos eritrócitos. Estudos como o de Claro *et al.*, (2025) já demonstraram uma correlação entre a frequência de micronúcleos e a poluição por metais pesados em paisagens de monocultura, expondo a fauna silvestre a substâncias tóxicas reforçando que essa resposta biológica está diretamente ligada à exposição ambiental à xenobióticos.

A diferença de resposta entre *Rhipidomys macrurus* e *Gracilinanus agilis* pode ser explicada a partir de aspectos ecológicos e fisiológicos das espécies. Enquanto *Rhipidomys macrurus* é um roedor arborícola com dieta predominantemente frugívoro (Bonvicino; Oliveira; D'Andrea, 2008), *Gracilinanus agilis* é um marsupial pequeno, de vida mais curta, com hábitos generalistas e dieta onívora, que inclui grande proporção de insetos (Camargo *et al.*, 2017). Sabe-se que espécies insetívoras estão mais vulneráveis a xenobióticos, uma vez que os insetos podem bioacumular inseticidas e metais pesados (Fritsch *et al.*, 2022; Tison *et al.*, 2024; Bandouchova *et al.*, 2024). Costa *et al.*, (2023) encontraram maiores concentrações de chumbo (Pb) em marsupiais do que em roedores, e atribuíram tal fato a dieta predominantemente insetívora. É provável que *G. agilis* está igualmente exposta à xenobióticos nas áreas do presente estudo por ingerir insetos possivelmente contaminados com agroquímicos, uma vez que o entorno de todas as áreas é formado por plantações agrícolas e pastagens.

Estudos evidenciam que a idade e a expectativa de vida de diferentes espécies de mamíferos estão associadas a bioacumulação de xenobióticos (Wijnhoven *et al.*, 2007; Tifarouine *et al.*, 2019; Timofieieva *et al.*, 2024). Portanto, a expectativa de vida distinta entre as espécies pode ter papel determinante na bioacumulação e nos efeitos detectados. *Rhipidomys macrurus* vive em média 2 a 3 anos (Pereira, 2024), o que poderia aumentar a probabilidade de bioacumulação quando comparado a *Gracilinanus agilis* que vive de 1 a 2 anos (Lopes; Leiner, 2014). Assim, *G. agilis* pode não apresentar o mesmo acúmulo de xenobióticos ao longo do tempo, refletindo em uma menor quantidade de micronúcleos detectada nas análises.

Em suma, o presente estudo demonstra que o teste de micronúcleos em *Rhipidomys macrurus* se mostrou uma ferramenta eficiente no biomonitoramento ambiental, pois os resultados encontrados mostram que a quantidade de micronúcleos está associada ao nível de urbanização, sendo maior nas áreas mais urbanizadas. A metodologia confirmou a hipótese inicial para esta espécie, indicando que a pressão antrópica em fragmentos de Cerrado tem um impacto mensurável na saúde de mamíferos biomonitorados. A ausência de uma resposta significativa em *Gracilinanus agilis*, por sua vez, ressalta a importância de considerar diferenças ecológicas, fisiológicas e de tempo de vida entre espécies biomonitoradas, uma vez que tais fatores influenciam diretamente os padrões de bioacumulação e, conseqüentemente, a sensibilidade a contaminantes ambientais.

CONCLUSÃO

Os resultados do estudo demonstram que o teste de micronúcleos é uma ferramenta eficaz para o biomonitoramento, refletindo os diferentes níveis de perturbação ambiental em fragmentos de Cerrado. A quantidade de micronúcleos variou com o nível de urbanização das áreas analisadas, para os indivíduos de *Rhipidomys macrurus* que apresentaram maior quantidade de micronúcleos em áreas periurbanas, indicando que a pressão antrópica associada a esses ambientes impacta diretamente a saúde dos indivíduos. Por outro lado, *Gracilinanus agilis* não apresentou uma resposta significativa. Essa diferença entre as espécies sublinha a importância de considerar fatores ecológicos e de história de vida ao selecionar organismos para biomonitoramento. As características de *Rhipidomys macrurus*, como maior longevidade, podem ter facilitado a bioacumulação de xenobióticos, tornando-se um biomonitor mais sensível a danos genotóxicos.

REFERÊNCIAS

- ADAM, M. L. *et al.* DNA damage as indicator of the environmental vulnerability of bats in Brazil's Caatinga drylands. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 277, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09906-9>.
- BAESSE, C. Q. *et al.* Effect of urbanization on the micronucleus frequency in birds from forest fragments. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 171, p. 631-637, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.026>
- BANDOUCHOVA, H. *et al.* Natural mercury exposure of European insectivorous bats may exceed a recognized toxicity threshold. **Ecotoxicology**, v. 33, n. 8, p. 948-958, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10646-024-02785-5>
- BONVICINO, C. R.; OLIVEIRA, J. A. de; D'ANDREA, P. S. **Guia dos roedores do Brasil, com chave para gêneros baseadas em caracteres externos**. Rio de Janeiro: OPAS/OMS, 2008. 120 p.
- CALAO-RAMOS, C. *et al.* Bats are an excellent sentinel model for the detection of genotoxic agents: Study in a Colombian Caribbean region. **Acta Tropica**, v. 224, p. 106141, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106141>.
- CAMARGO, A. C. L. **Partição de nicho isotópico por pequenos mamíferos em formações florestais de uma savana neotropical**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016. <http://dx.doi.org/10.26512/2016.04.D.20769>
- CARMIGNOTTO, A. P.; DE VIVO, M.; LANGGUTH, A. Mammals of the Cerrado and Caatinga: distribution patterns of the tropical open biomes of Central South America. In: MARINHO-FILHO, J.; RODRIGUES, F. H. G.; DE OLIVEIRA, P. S. (org.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Chicago: University of Chicago Press, 2012. p. 120. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226649214.003.0014>.

CLARO, H. W. P. *et al.* Evaluating DNA damage in a South American marsupial through exfoliated cells of the buccal mucosa. 2025. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6430812/v1>

COSTA, L. S. *et al.* Heavy metals in hair of small mammals from the cacao agroforestry and Brazilian Atlantic Forest. **Global Ecology and Conservation**, v. 46, p. e02620, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02620>

DAMASCO, G. F.; FRANÇOSO, R.; HAIDAR, R. The Cerrado biome: a forgotten biodiversity hotspot. **Frontiers for Young Minds**, v. 6, n. 22, 2018. <https://doi.org/10.3389/frym.2018.00022>

DE CARLI, G. A. **Parasitologia clínica**: seleção de métodos e técnicas de laboratório para diagnóstico das parasitoses humanas. São Paulo: Atheneu, 2001. 810 p.

DE CARVALHO, A. P. S.; LOPES, M.; SVARTMAN, M. A new karyotype for *Rhipidomys* (Rodentia, Cricetidae) from Southeastern Brazil. **Comparative Cytogenetics**, v. 6, p. 227-237, 2012. <https://doi.org/10.3897/CompCytogen.v6i3.2432>.

FRITSCH, C. *et al.*, Pervasive exposure of wild small mammals to legacy and currently used pesticide mixtures in arable landscapes. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 15904, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19959-y>

GEISE, L.; ASTÚA, D. Extensão da distribuição e ocorrência em simpatria de *Gracilinanus agilis* e *G. microtarsus* (Didelphimorphia, Didelphidae) com notas citogenéticas. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 4, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000400030>

JOTA BAPTISTA, C. *et al.* Biomonitoring metals and metalloids in wild mammals: invasive versus non-invasive sampling. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 18398–18407, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18658-5>

LOPES, G.; LEINER, N. O. Semelparity in a population of *Gracilinanus agilis* (Didelphimorphia: Didelphidae) inhabiting the Brazilian Cerrado. **Mammalian Biology**, v. 79, n. 5, p. 365-369, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2014.08.004>

MACEDO, J. *et al.* Classes de desenvolvimento em marsupiais: um método para animais vivos. **Mastozoologia Neotropical**, v. 13, n. 1, p. 133-136, 2006.

MESNAGE, R. Environmental Health Is Overlooked in Longevity Research. **Antioxidants (Basel)**, v. 14, n. 4, p. 421, 2025. <https://doi.org/10.3390/antiox14040421>

OLIVEIRA, M. M. de. **Prevalência de *Trypanosoma cruzi* (Chagas, 1909) e *T. lainsoni* (Naiff & Barrett, 2013) em roedores e marsupiais do bioma Cerrado e efeitos do parasitismo sobre a saúde de populações destes animais**. 2022. 113 f. Tese (Doutorado em Imunologia e Parasitologia Aplicadas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2022.642>.

NOVAES, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES O. F. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018. <http://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520>

OLIVEIRA, M. M. *et al.*, Prevalence of *Trypanosoma lainsoni* and its effects of parasitism on the health of non-volant small mammals from the Brazilian Cerrado. **Parasitology Research**, v. 122, n. 7, p. 1509-1518, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07851-1>

PAPI, B. *et al.*, Pequenos mamíferos não-voadores. In: LISBOA, A. C.; MARTINS, L. S. (org.). **Fauna de vertebrados do entorno da Estrada de Ferro Carajás**. São Luís: EDUFMA, 2018. cap. 6, p. 173-187.

PEREIRA, D. C. O. **Influência do fogo sobre a condição corporal de *Rhipidomys macrurus* (Gervais, 1855) (Rodentia: Cricetidae) no Cerrado brasileiro**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5154>

PEREIRA, D. C. O.; CONEGLIAN, J. B. Situação e perspectivas da conservação do Cerrado em 2019. **Revista UEG**, Anápolis, v. 8, n. 2, p. 243-264, 2019.

SANDOVAL-HERRERA, N. *et al.* Micronucleus test reveals genotoxic effects in bats associated with agricultural activity. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 40, n. 1, p. 202-207, 2021. <http://doi.org/10.1002/etc.4907>

SANDOVAL-HERRERA, N. *et al.* Non-destructive methods to assess pesticide exposure in free-living bats. **Science of The Total Environment**, v. 870, p. 162011, 2023. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162011>

SCHMID, W. The micronucleus test for cytogenetic analysis. In: **Chemical mutagens: principles and methods for their detection**. Boston, MA: Springer US, 1976. p. 31-53. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0892-8_2

TIFAROUINE, L. *et al.* Influence of age on the bioaccumulation of heavy metals in *Apodemus sylvaticus* at Merja Zerga lagoon, Morocco. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 7, p. 1682-1688, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.017>

TIMOFIEIEVA, O. *et al.* Trace metal accumulation with age in bats: a case study on *Pipistrellus kuhlii lepidus* from a relatively unpolluted area. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 57, p. 65638-65647, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35611-w>

TALMAGE, S. S., WALTON, B. T. **Small Mammals as Monitors of Environmental Contaminants**. In: Ware, G.W. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Springer: New York, v.119, 1991. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3078-6_2

TISON, L. *et al.* Transfer and bioaccumulation of pesticides in terrestrial arthropods and food webs: State of knowledge and perspectives for research. **Chemosphere**, v. 357, p. 142036, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142036>

WIJNHOFEN, S. *et al.* Heavy-metal concentrations in small mammals from a diffusely polluted floodplain: importance of species-and location-specific characteristics. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 52, n. 4, p. 603-613, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00244-006-0124-1>

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, Thiago Henrique Francisco da, 2001-
2025 UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA INSTITUTO DE
BIOLOGIA CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS [recurso eletrônico] :
Bioindicadores de qualidade ambiental em fragmentos florestais /
Thiago Henrique Francisco da Silva. - 2025.

Orientadora: Natália oliveira Leíner.

Coorientadora: Paulo vitor alves Ribeiro.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Ciências Biológicas.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

1. Biologia. I. Leíner, Natália oliveira ,1979-, (Orient.). II. Ribeiro,
Paulo vitor alves ,1994-, (Coorient.). III. Universidade Federal de
Uberlândia. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 573

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074