

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Gabriela Rausse Campos

**ECOLOGIA DE FERROVIAS: análises de lacunas e padrões espaciais de
impactos na vida silvestre**

Belo Horizonte

2023

Gabriela Rausse Campos

ECOLOGIA DE FERROVIAS: análises de lacunas e padrões espaciais de impactos na vida selvagem

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Prof. Dr. Camila Palhares Teixeira

Belo Horizonte

2023

C198e
2023

Campos, Gabriela Rausse.

Ecologia de ferrovias [manuscrito] : análises de lacunas e padrões espaciais de impactos na vida silvestre / Gabriela Rausse Campos. – 2023.

70 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Camila Palhares Teixeira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Biodiversidade – Teses. 3. Tatupeba – Teses. 4. Mortalidade – Teses. 5. Ferrovia Norte-Sul – Teses. I. Teixeira, Camila Palhares. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(81)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO PROGRAMA EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

ECOLOGIA DE FERROVIAS: ANÁLISES DE LACUNAS E PADRÕES ESPACIAIS DE IMPACTOS NA VIDA SILVESTRE

GABRIELA RAUSSE CAMPOS

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 17 de maio de 2023, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Dra. Camila Palhares Teixeira (UEMG)

Dra. Larissa Oliveira Gonçalves (USP)

Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega (UFMG)

Belo Horizonte, 17 de maio de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega, Professor do Magistério Superior**, em 31/05/2023, às 13:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Larissa Oliveira Gonçalves, Usuário Externo**, em 01/06/2023, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Palhares Teixeira, Usuário Externo**, em 22/06/2023, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2349576** e o código CRC **B2B50C3D**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que participaram do processo de defesa da minha dissertação. Este é um momento muito importante em minha vida acadêmica, e estou imensamente feliz por ter conseguido chegar até aqui.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha orientadora pelo suporte e orientação durante todo o processo de pesquisa. Sem a sua ajuda, eu não teria sido capaz de alcançar este resultado tão satisfatório. Sua dedicação e comprometimento foram fundamentais para o sucesso desse trabalho.

Também queria agradecer a VLI, por terem fornecidos os dados para a realização deste trabalho e a Beatriz por também contribuir nesse processo. Sem vocês esse estudo não seria possível acontecer. Gostaria de expressar minha profunda gratidão à CAPES pela bolsa concedida durante o meu mestrado. Essa oportunidade foi fundamental para o desenvolvimento da minha pesquisa e aprimoramento acadêmico.

Agradeço também à banca avaliadora, por dedicar o seu tempo e conhecimento para avaliar o meu trabalho e me fornecer um feedback construtivo e precioso. Me sinto honrada por ter sido avaliada por especialistas tão renomados em suas áreas de atuação.

Não posso deixar de agradecer aos meus familiares e amigos, que sempre me apoiaram e incentivaram durante toda a jornada acadêmica. Seus encorajamentos e palavras de incentivo foram essenciais para que eu pudesse perseverar mesmo nos momentos mais difíceis.

Gostaria de deixar um agradecimento especial a minhas amigas Izabelle e Lorena por estarem comigo em mais uma conquista da minha vida. A Fernanda, Natália, Raisal e Thaisa, minhas parceiras da UFMG, por cada aprendizado juntas perante muitas lutas realizando trabalhos. E por último, mas não menos importante, meu agradecimento a Thais por sempre me apoiar, incentivar, fazer que eu enxergue o lado positivo das coisas, não deixar que eu desista e por me esperar durante esse tempo, não tenho palavras pra te agradecer por tudo.

RESUMO

A ecologia de ferrovias é um campo emergente, que ainda apresenta informações escassas e dispersas sobre os efeitos dessas infraestruturas na biodiversidade. Os principais impactos ambientais descritos provenientes de malhas ferroviárias são: atropelamento de fauna, efeito barreira e sua consequente redução do tamanho e qualidade do habitat. Este trabalho foi organizado em dois capítulos: (1) uma revisão bibliográfica dos trabalhos publicados com o tema ecologia de ferrovias (em inglês: “*Railway Ecology*” e “*Railway wildlife*”), em uma tentativa de identificar e preencher as lacunas do conhecimento. Nessa análise, encontramos que as áreas tropicais vêm sendo negligenciadas nos estudos, que as colisões são um dos impactos mais estudados, e os mamíferos de grande porte têm uma maior atenção nessa área, e as medidas de mitigação ainda são pouco estudadas; (2) um estudo de caso na Ferrovia Norte-Sul com o objetivo de determinar as principais causas dos atropelamentos de tatupeba (*Euphractus sexcinctus*). Neste contexto, foi identificado que o aumento no número de pares de trem, consequentemente, aumenta o número de atropelamentos e que o fator sazonalidade e o grau de antropização do habitat não parecem influenciar nas fatalidades. Também foi identificado dois locais com potencial para a instalação de medidas de mitigação para minimizar esse impacto. A revisão realizada neste trabalho é importante na disseminação de informações, objetivando preencher lacunas no campo da ecologia de ferrovias e seus efeitos na biodiversidade. Assim, devido à grande lacuna existente sobre animais atropelados em ferrovias brasileiras, esse trabalho assume sua importância ao estabelecer os principais fatores que estão diretamente relacionados aos atropelamentos do tatupeba em ferrovias, identificando no processo análises importantes, como a definição de medidas mitigadoras mais e efetivas para essa espécie demasiadamente impactada. Dessa forma, os resultados apresentados tem relevância ao campo da ecologia de ferrovias, já que é uma área em desenvolvimento, principalmente na América do Sul. Cabe considerar, que esse trabalho vai ao encontro das metas de Aichi e do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável ao promover medidas para deter a perda da biodiversidade, respeitando seu caráter urgente.

Palavras-chave: Análise de lacunas; biodiversidade; medida de mitigação, Tatupeba, ecologia de transportes.

ABSTRACT

The ecology of railways is an emerging field, which still has scarce and scattered information about the effects of these infrastructures on biodiversity. The main environmental impacts described from railway networks are: running over fauna, the barrier effect and its consequent reduction in the size and quality of the habitat. This work was organized in two chapters: (1) a bibliographical review of the works published with the subject Ecology of Railroads (in English: "Railway Ecology" and "Railway wildlife"), in an attempt to identify and fill the knowledge gaps. In this analysis, we found that tropical areas have been neglected in studies, that collisions are one of the most studied impacts, and large mammals have greater attention in this area, and mitigation measures are still little studied; (2) a case study on the North-South Railroad with the objective of determining the main causes of roadkill in armadillos (*Euphractus sexcinctus*). In this context, it was identified that the increase in the number of train pairs, consequently, increases the number of pedestrians being run over and that the seasonality factor and the degree of anthropization of the habitat do not seem to influence fatalities. Two locations with potential for the installation of mitigation measures to minimize this impact were also identified. The review carried out in this work is important in the dissemination of information, aiming to fill gaps in the field of Railway Ecology and its effects on biodiversity. Thus, due to the large existing gap on animals run over on Brazilian railways, this work assumes its importance by establishing the main factors that are directly related to tatupeba being run over on railways, identifying important analyzes in the process, such as the definition of more and effective mitigating measures for this heavily impacted species. In this way, the results presented are relevant to the field of railroad ecology, since it is a developing area, mainly in South America. It should be noted that this work meets the Aichi goals and the Sustainable Development Goal by promoting measures to stop the loss of biodiversity, respecting its urgent nature.

Keywords: Gap analysis; biodiversity; mitigation measure, Tatupeba, transport ecology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Número total de publicações de artigos por ano usando o termo “Railway Ecology” e “Railway Wildlife”	25
Figura 2- Mapa de distribuição das publicações de artigos encontrados usando o termo “Railway Ecology” e “Railway Wildlife”	26
Figura 3- Número de artigos esperados e observados nos países com maiores publicações	26
Figura 4 - Quantitativo das medidas de mitigação	28
Figura 5 – Localização da Ferrovia Norte-Sul no Brasil	47
Figura 6 – Biomas da área de estudo	48
Figura 7 - Número de <i>Euphractus sexcintus</i> atropelados por ano.....	54
Figura 8– Número de atropelamentos de tatupeba por pares de trem na Ferrovia Norte-Sul	55
Figura 9 - Número de atropelamentos de tatupeba pela sazonalidade (estação seca e chuvosa).....	56
Figura 10 – Número de atropelamentos de tatupeba por grau de antropização do habitat.....	57
Figura 11 – Análise K de Ripley com os registros de atropelamentos de tatupeba ao longo da Ferrovia Norte-Sul na zona 23 Sul.....	58
Figura 12 – Análise K de Ripley com os registros de atropelamentos de tatupeba ao longo da Ferrovia Norte-Sul na zona 22 Sul.....	58
Figura 13 - Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 sul	61
Figura 14– Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 e 22 sul.....	62
Figura 15 – Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 22 sul	63
Figura 16– Uso do solo nas Zonas Críticas de Fatalidade de atropelamento do tatupeba na Ferrovia Norte-Sul na Zona 22 sul.....	64
Figura 17 – Uso do solo nas Zonas Críticas de Fatalidade de atropelamento do tatupeba na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 sul.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Porcentagem do número de espécies estudadas	27
Tabela 2 - Porcentagem de impactos estudados	27
Tabela 3 - Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 Sul.....	59
Tabela 4 - Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 22 Sul.....	59

LISTA DE SIGLAS

ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
BACI	Antes-Depois-Controle-Impacto
CVUT	Cobertura Vegetal e Uso da Terra
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FNS	Ferrovia Norte-Sul
HSR	Trens de alta velocidade
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
QTR	Ferrovia Qinghai-Tibet
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCF	Zona Crítica de Fatalidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	10
2 OBJETIVOS.....	14
Objetivo Geral.....	14
Objetivos Específicos.....	15
REFERÊNCIAS	15
3 CAPÍTULO 1: Identificando as lacunas da ecologia de ferrovias e o valor de monitorar seus efeitos na vida selvagem	18
RESUMO	18
ABSTRACT	19
RESUMO GRÁFICO.....	20
3.1 INTRODUÇÃO.....	21
3.2 METODOLOGIA.....	23
3.3 RESULTADOS	24
3.4 DISCUSSÃO	28
3.5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36
4 CAPÍTULO 2: Distribuição espaço-temporal de atropelamento de <i>Euphractus sexcinctus</i> (tatupeba) na Ferrovia Norte-Sul	40
RESUMO	40
ABSTRACT	41
RESUMO GRÁFICO.....	42
4.1 INTRODUÇÃO.....	43
4.2 METODOLOGIA.....	46
4.2.1 Área de Estudo	46
4.2.2 <i>Euphractus sexcinctus</i> – tatubepa	49
4.2.3 Coleta de dados.....	50
4.2.4 Pré-processamento dos Dados.....	51
4.2.5 Análises Estatísticas	51
4.2.6 Análises Espaciais.....	52
4.2.7 Zonas críticas de fatalidades	53
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.4 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO GERAL

A ecologia de ferrovias é um campo emergente, que ainda apresenta informações escassas e dispersas sobre seus efeitos na biodiversidade (BARRIENTOS *et al.*, 2017; DORSEY; OLSSON; REW, 2015; POPP; BOYLE, 2017). A proteção dos habitats que cruzam as ferrovias e sua vida silvestre têm se tornado os principais fatores a serem levados em consideração quando as ferrovias são desenhadas ou na manutenção das já existentes (CLAUZEL; GIRARDET; FOLTÊTE, 2013b; PROFILLIDIS, 2014). No entanto, em comparação com outros sistemas de transporte, como rodovias, pouco se sabe sobre o impacto das ferrovias na vida selvagem, bem como suas especificidades (BARRIENTOS *et al.*, 2017).

Os principais impactos ambientais descritos provenientes de malhas ferroviárias são relativamente semelhantes aos gerados por rodovias, tais como: atropelamento de fauna, efeito barreira, fragmentação de habitat e sua consequente redução do tamanho e qualidade do habitat (FORMAN; ALEXANDER, 1998). Estes vêm sendo apontados como os principais impactos gerados à biodiversidade por empreendimento lineares (rodovias, ferrovias, linhas de transmissão de energia e outros).

A morte da fauna silvestre derivada da colisão com veículos ainda é o mais significativo dos impactos de empreendimentos lineares na vida silvestre, muito em virtude das extensas faixas das rodovias e ferrovias que cortam os habitats (FORMAN *et al.*, 2003). Neste contexto, a morte de vertebrados, principalmente mamíferos e aves, é uma das mais representativas na fauna silvestre e decorre diretamente das colisões com os trens (SILVA *et al.*, 2015).

A ocorrência de atropelamento de fauna está vinculada a diversos fatores, como o comportamento dos animais, inclusive como reação à alteração de seu habitat, à velocidade empregada pelos veículos nas vias, à intensidade do tráfego em uma determinada estrada, à influência da sazonalidade e à paisagem do entorno. Esta perda de indivíduos da fauna por atropelamentos pode ser considerada generalista, atingindo vertebrados terrestres em geral. Além disso, no Brasil, destaca-se de sobremaneira os estudos dos impactos sobre os mamíferos, tais avaliações que

refletem os impactos sobre esse grupo constam em 100% dos trabalhos revisados por Carvalho (2015).

Por outro lado, para algumas espécies, as ferrovias podem levar a uma mortalidade mais baixa. Por exemplo, as vibrações de trens se aproximando podem ser sentidas ao longo dos trilhos e isso pode dar um alerta para alguns vertebrados terrestres. Esse parece ser o caso de serpentes, que podem perceber a aproximação dos trens por meio de vibrações transmitidas pelos trilhos ou pelo lastro (HESKE, 2015). Em um estudo que comparou as taxas de mortalidade entre rodovias e ferrovias, verificou-se que as ferrovias tinham mortalidade notavelmente menor de aves canoras, pequenos mamíferos e tartarugas quando comparadas às das rodovias, sugerindo que as espécies diurnas podem ser mais eficientes em evitar trens do que evitar carros e caminhões em estradas de mão dupla movimentadas (HESKE, 2015). Outro fator que também pode influenciar na menor mortalidade é a questão do fluxo de tráfego ser muito menor nas ferrovias e esse fluxo ser caracterizado por longos intervalos sem tráfego (BARRIENTOS *et al.*, 2019), sendo que no Brasil, um outro fator extremamente importante é o tipo de concessão das ferrovias, que são, na sua grande maioria, geridas por empresas privadas, o que dificulta o acesso aos dados ou a coleta dos mesmos para fins de pesquisas, tornando a lacuna de conhecimento no país ainda maior.

Como resultado dos pontuados efeitos negativos das vias de transporte sobre a fauna, foram desenvolvidas diferentes medidas mitigadoras que devem ser exercidas por diferentes razões, entre elas podemos destacar: (1) ética, (2) segurança e (3) conservação (KINDEL *et al.*, 2017). Neste sentido, por influência determinante destas questões, a Ecologia de Estradas tem evoluído para um campo consolidado do conhecimento e de pesquisa no mundo (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

A mortalidade de animais silvestres em ferrovias atinge diferentes grupos, sendo que são focados primeiramente em mamíferos de grande porte, além de serem concentrados em poucos países também (BARRIENTOS *et al.*, 2017; DORSEY; OLSSON; REW, 2015). Mas, além das colisões, que são a maior causa de mortes em ferrovias (DORSEY; OLSSON; REW, 2015), de fato, algumas espécies de corpo pequeno podem ser aprisionadas entre os trilhos e morrer por desidratação ou fome (BUDZIK; BUDZIK, 2014; KORNILEV; PRICE; DORCAS, 2006), como por exemplo

anfíbios (DORNAS *et al.*, 2019) e répteis, principalmente, quelônios. Os últimos, em particular, parecem ser fortemente afetados por ferrovias devido à mobilidade e flexibilidade limitadas (ENGEMAN; SMITH; KAUFMAN, 2007; IOSIF, 2012; KORNILEV; PRICE; DORCAS, 2006; POPP; BOYLE, 2017). Outro grupo que pode ser muito afetado são os Cingulados das ordens Chlamyphoridae e Dasypodidae (os tatus), sendo que não há referências bibliográficas que confirmem esse fato. Mas devido à biologia e morfologia dos animais desse grupo, tem-se que eles se prendem aos trilhos assim como os quelônios, principalmente as espécies de menor porte, como por exemplo *Euphractus sexcinctus* (tatupeba).

As principais ameaças identificadas para a espécie *Euphractus sexcinctus* foram: incêndio, caça e aumento da matriz rodoviária e ferroviária, principalmente pela ocorrência de atropelamentos. A caça é extensiva em escala local (ABBA; SUPERINA, 2010) e os atropelamentos são muito comuns em toda sua área de ocorrência. No nordeste do estado de São Paulo, onde essa espécie é relativamente abundante, é um dos mamíferos mais atropelados nas rodovias que cortam as propriedades que cultivam extensivamente a cana-de-açúcar na região (DALPONTE; TAVARES-FILHO, 2004).

As ferrovias representam barreiras físicas para espécies de pequeno porte, especialmente para aquelas com mobilidade reduzida, assim como o tatupeba. As barreiras podem ser uma consequência dos próprios trilhos, conforme relatado para tartarugas da espécie *Terrapene carolina* (KORNILEV; PRICE; DORCAS, 2006) e *Gopherus polyphemus* (RAUTSAW *et al.*, 2018), e pode ser extrapolado para as espécies de tatus, devido à anatomia do animal, a cercas ou outras estruturas do corredor ferroviário, como valas íngremes. Os trilhos das ferrovias representam barreiras para as tartarugas terrestres pois não podem cruzá-las porque não conseguem escalar os trilhos (KORNILEV; PRICE; DORCAS, 2006; RAUTSAW *et al.*, 2018), assim como para tatus.

O monitoramento dos impactos causados pelas ferrovias é limitado, causados a priori, por considerações práticas de custo e viabilidade, portanto, um levantamento de todas as espécies atingidas por esses empreendimentos não é realista. Por isso, é necessário melhorar os instrumentos de monitoramento das espécies afetadas por esses impactos, levando em consideração alguns pontos específicos. A qualidade

desse monitoramento determina uma maior acurácia de dados, o que permite uma melhor análise de tais impactos em pesquisas.

A seleção das espécies a serem monitoradas compreende alguns aspectos fundamentais, sendo que inicialmente depende: (1) de suas características (por exemplo, mobilidade, estado de conservação ou sensibilidade à fragmentação), (2) das características da paisagem atravessada pela ferrovia e (3) das características da ferrovia. Por exemplo, se a ferrovia tiver linhas elétricas aéreas e postes, cuidado especial deve ser tomado com as espécies de pássaros e morcegos (PEÑA; LLAMA, 1997; ROSE; BAILLIE, 1989; SCV, 1996); se houver risco de aprisionamento dentro das linhas ferroviárias, répteis com pouca mobilidade (por exemplo, tartarugas) e anfíbios (por exemplo, sapos) devem ser priorizados (KORNILEV; PRICE; DORCAS, 2006; PELLETIER *et al.*, 2005), assim como os tatus.

Os trabalhos de Wells *et al.* (1999) e Jackson (1999) estabelecem bases para elaboração de uma série de estratégias, dentre as quais estão: concentrar a mitigação em trechos mais afetados; remover carcaças da área da linha férrea; reduzir a perda de grãos no transporte; estabelecer programa de treinamento da tripulação na identificação de animais selvagens; manejar a vegetação à margem da linha férrea; compartilhar a base de dados sobre atropelamentos de fauna entre agências de transporte e adequar os passadores de fauna observando características faunísticas e do entorno.

As medidas de mitigação para diminuição da mortalidade de animais em ferrovias e seu estabelecimento dentro do processo de planejamento da via deveria ser adotada, anteriormente ao licenciamento em si ou, na pior das hipóteses, na fase inicial do estudo de impacto ambiental (EIA) (GUNSON; TEIXEIRA, 2015; TEIXEIRA *et al.*, 2016), mas mesmo após a sua construção essas medidas podem ser adotadas, reduzindo o impacto na biodiversidade.

A mortalidade de animais silvestres em infraestruturas viárias, por serem frequentemente agregadas espacialmente, se apresentam como um importante indicador dos locais para instalação de medidas/ações para mitigação (VAN DER GIFT; KUIJSTERS, 1998), já que os estudos de monitoramento de fauna atropelada servem como instrumentos fundamentais determinantes para implementação das

áreas mais adequados para implementação das medidas mitigadoras pensadas no âmbito dos EIA.

Uma das principais formas de verificar os impactos e efetividade da mitigação de estradas sobre a fauna é através da implementação de programas de monitoramento. Tais estudos permitem, por exemplo, avaliar quais grupos faunísticos são os mais afetados em uma determinada via, qual o efeito da sazonalidade sobre os eventos de atropelamento, bem como quais os principais pontos de ocorrência de atropelamentos de uma determinada ferrovia. Tais informações servem como subsídio para delinear ações estruturais a serem implementadas por políticas mitigatórias, elas podem sinalizar de forma prática ações, educativas que tenha o objetivo de reduzir o efeito negativo das ferrovias sobre a fauna, além de preencher as lacunas relacionadas à ecologia de ferrovias enquanto pesquisa, já que esta ciência possui informações muito escassas em todo mundo, e principalmente no Brasil.

Devido à grande lacuna que temos sobre animais atropelados em ferrovias brasileiras esse estudo é de grande importância para entender o estado da arte desse assunto no Brasil e no mundo e avaliar os fatores relacionados aos atropelamentos e morte em ferrovias de *Euphractus sexcinctus* (tatupeba), uma espécie diretamente afetada, e seus efeitos, juntamente com o padrão espaço-temporal das colisões e identificação de pontos de agregação de atropelamento (*blackspots*) que representará uma ferramenta relevante, pois são análises importantes visando à localização para definição das medidas mitigadoras mais consistentes para essa espécie muito impactada por atropelamento e que pode ser afetada pelo efeito barreira. Além disso, esse estudo cumpre as metas 1, 2 e 3 de Aichi e também o objetivo 15.5 do ODS 15 (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) que tem o intuito de tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Traçar um panorama do estado da arte de estudos publicados com ecologia de ferrovias identificando as lacunas existentes nos trabalhos publicados e avaliar a distribuição espaço-temporal de atropelamento de *Euphractus sexcinctus* (tatupeba)

na Ferrovia Norte-Sul (FNS), e variáveis ambientais que afetam o atropelamento da espécie, buscando contribuir para preenchimento das lacunas identificadas na revisão.

Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão quantitativa de trabalhos publicados com o tema ecologia de ferrovias e vida silvestre em ferrovias;
- Analisar as principais causas dos atropelamentos de *Euphractus sexcinctus* (tatupeba) na Ferrovia Norte-Sul, levando em consideração a Cobertura Vegetal e Uso da Terra (CVUT) e a variação sazonal, para determinar, quando, onde e o porquê desses atropelamentos.

REFERÊNCIAS

- ABBA, Agustín Manuel; SUPERINA, Mariella. The 2009/2010 Armadillo Red List Assessment. **Edentata**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 135–184, 2010. DOI: 10.5537/020.011.0203.
- BARRIENTOS, Rafael; ASCENSÃO, Fernando; BEJA, Pedro; PEREIRA, Henrique M.; BORDA-DE-ÁGUA, Luís. Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. **European Journal of Wildlife Research**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 0–9, 2019. DOI: 10.1007/s10344-018-1248-0.
- BARRIENTOS, Rafael; BORDA-DE-ÁGUA, Luís; BEJA, Pedro; M. PEREIRA, Henrique. **Railway ecology**. Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-57496-7_19.
- BUDZIK, Karolina A.; BUDZIK, Krystian M. A preliminary report of amphibian mortality patterns on railways. **Acta Herpetologica**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 103–107, 2014. DOI: 10.13128/Acta.
- CARVALHO, Andréa Siqueira. **Compreender para conservar: um estudo sobre os atropelamentos**. 2015. [S. l.], 2015.
- CLAUZEL, Céline; GIRARDET, Xavier; FOLTÊTE, Jean Christophe. Impact assessment of a high-speed railway line on species distribution: Application to the European tree frog (*Hyla arborea*) in Franche-Comté. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 127, p. 125–134, 2013. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.04.018.
- DALPONTE, Júlio C.; TAVARES-FILHO, José A. Diet of the Yellow Armadillo, *Euphractus sexcinctus*, in South-Central Brazil. *In*: **Edentata**. [s.l.: s.n.]. p. 37–41.
- DORNAS, Rubem A. P.; TEIXEIRA, Fernanda Z.; GONSIOROSKI, Gustavo; NÓBREGA, Rodrigo A. A. Strain by the train: Patterns of toad fatalities on a Brazilian Amazonian railroad. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 660, p. 493–500, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.371. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.371>.
- DORSEY, Benjamin; OLSSON, Mattias; REW, Lisa J. Ecological Effects of Railways on Wildlife. *In*: **Handbook of Road Ecology**. [s.l.: s.n.]. p. 219–227. DOI: 10.1002/9781118568170.ch26.

ENGEMAN, Richard M.; SMITH, Henry T.; KAUFMAN, Gregory S. Gopherus polyphemus (Gopher Tortoise) mortality. **Herpetological Review**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 330–332, 2007.

FORMAN, Richard T. T. et al. Road ecology: Science and solutions. Island Press. **Science and Solutions**, [S. l.], 2003.

FORMAN, Richard T. T.; ALEXANDER, Lauren E. Roads and Their Major Ecological Factors. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, [S. l.], v. 29, p. 207–231, 1998.

GUNSON, Kari; TEIXEIRA, Fernanda Zimmermann. Road-Wildlife Mitigation Planning can be Improved by Identifying the Patterns and Processes Associated with Wildlife-Vehicle Collisions. **Handbook of Road Ecology**, p. 101–109, 2015.

HESKE, Edward J. Blood on the tracks: Track mortality and scavenging rate in urban nature preserves. **Urban Naturalist**, 4, 1–13, 2015.

IOSIF, Ruben. Railroad-Associated Mortality Hot Spots for A Population of Romanian Hermann's Tortoise (Testudo Hermannii Boettgeri): A Gravity Model for Railroad-Segment Analysis. **Procedia Environmental Sciences**, [S. l.], v. 14, n. December 2012, p. 123–131, 2012. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.03.012.

JACK, R.; JACKSON, P. Imaging attributes of railway track formation and ballast using ground probing radar. **NDT and E International**, [S. l.], v. 32, p. 457–462, 1999. DOI: 10.1016/S0963-8695(99)00023-7.

KINDEL, Andreas et al. Following the “why? what? and how?” schema to improve road-kill evaluation in environmental impact assessments of Southern Brazil. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 21, n. 3 Special Issue, p. 256–267, 2017. DOI: 10.4257/oeco.2017.2103.03.

KORNILEV, Yurii V.; PRICE, Steven J.; DORCAS, Michael E. Between a rock and a hard place: Responses of eastern box turtles (Terrapene carolina) when trapped between railroad tracks. **Herpetological Review**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 145–148, 2006.

PELLETIER, Steven K.; CARLSON, Lars; NEIN, Daniel; ORG, Escholarship; ROY, Robert D. Railroad crossing structures for spotted turtles: massachusetts bay transportation authority–greenbush rail line wildlife crossing demonstration project. **Proceedings of the 2005 international conference on ecology and transportation**, [S. l.], p. 414–425, 2005.

PEREIRA, Henrique Miguel; NAVARRO, Laetitia Marie; MARTINS, Inês Santos. Global biodiversity change: The Bad, the good, and the unknown. **Annual Review of Environment and Resources**, [S. l.], v. 37, p. 25–50, 2012. DOI: 10.1146/annurev-environ-042911-093511.

POPP, J. N.; BOYLE, S. P. Railway ecology: Underrepresented in science? **Basic and Applied Ecology**, [S. l.], v. 19, p. 84–93, 2017. DOI: 10.1016/j.baae.2016.11.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2016.11.006>.

PROFILLIDIS, V. A. **Railway management and engineering**. [s.l.: s.n.].

RAUTSAW, Rhett M.; MARTIN, Scott A.; VINCENT, Bridget A.; LANCTOT, Katelyn; REBECCA BOLT, M.; SEIGEL, Richard A.; PARKINSON, Christopher L. Stopped Dead in Their Tracks: The Impact of Railways on Gopher Tortoise (Gopherus polyphemus) Movement and Behavior. **Copeia**, [S. l.], v. 106, n. 1, p. 135–143, 2018. DOI: 10.1643/CE-17-635.

SILVA, Fabio Cavitione; PETERS, Felipe Bortolotto; ROTH, Paulo Ricardo De Oliveira; CHRISTOFF, Alexandre Uarth. Mamíferos De Médio E Grande Porte Atropelados Por Trens No Extremo Sul Do Brasil. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, [S. l.], v. 1, n. 13, p. 19–29, 2015.

TEIXEIRA, Fernanda Zimmermann; COELHO, Igor Pfeifer; LAUXEN, Mozart;

ESPERANDIO, Isadora Beraldi; HARTZ, Sandra Maria; KINDEL, Andreas. The Need to Improve and Integrate Science and Environmental Licensing to Mitigate Wildlife Mortality on Roads in Brazil. **Tropical Conservation Science**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 34–42, 2016. DOI: 10.1177/194008291600900104.

VAN DER GRIFT, Edgar A.; KUIJSTERS, H. M. J. Mitigation measures to reduce habitat fragmentation by railway lines in the Netherlands. In G. L. Evinck, P. Garrett, D. Zeigler, & J. Berry (Eds.), **Proceedings of the international conference on wildlife ecology and transportation**. p. 166–17). Tallahassee, FL: Florida Department of Transportation. 1998.

WELLS, Pat., *et al.* Wildlife mortalities on railways: Monitoring methods and mitigation. In **Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation**. ICOET, Missoula, Montana. 1999.

3 CAPÍTULO 1: Identificando as lacunas da ecologia de ferrovias e o valor de monitorar seus efeitos na vida selvagem

RESUMO

O campo da “ecologia de ferrovias” ainda está em fase de desenvolvimento e tem sido relativamente pouco estudado na ecologia de transporte. Uma contribuição significativa para este campo foi o livro “*Railway Ecology*”, publicado em 2017, que fornece uma visão única dos impactos das ferrovias na biodiversidade. O presente estudo realizou uma revisão bibliográfica, a fim de identificar as principais lacunas nessa área tão escassa. Foi conduzido um levantamento bibliográfico utilizando-se as bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, buscando estudos relacionados à ecologia ferroviária. Para isso, utilizou-se duas palavras-chave: “*Railway ecology*” e “*Railway wildlife*”. Foram encontrados 1579 artigos em todas as bases analisadas, entretanto, para esse estudo, considerou-se 200 artigos. Encontramos um aumento significativo de artigos publicados com as palavras-chaves desde 1997 até 2021. Além disso, os estudos foram em sua maioria para regiões temperadas. Observou-se também que os trabalhos estavam mais focados em mamíferos de grande porte, que as colisões são os impactos mais estudados e que 73,75% dos artigos não apresentam medidas de mitigação em seu conteúdo. Com isso, uma lacuna de conhecimento sobre ecologia de ferrovias e vida selvagem ferroviária, principalmente em ambientes tropicais. Destacamos a importância de descrever os impactos relacionados às ferrovias e suas potenciais medidas de mitigação, especialmente nestas áreas e esperamos que nossa revisão ajude com informações para minimizar as lacunas no campo da ecologia de ferrovias e seus efeitos na biodiversidade.

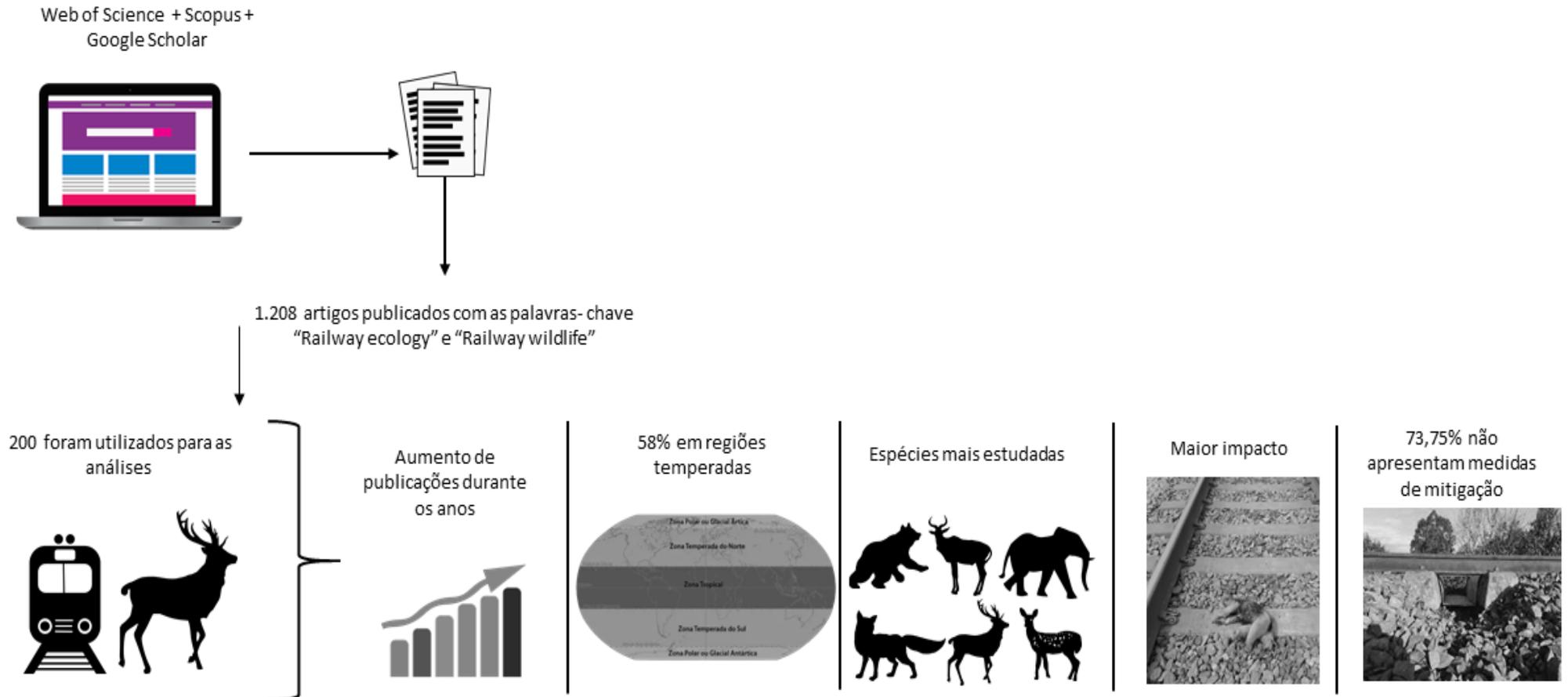
Palavras-chave: Análise de lacunas; biodiversidade; áreas tropicais; colisões; medidas de mitigação.

ABSTRACT

The field of “railway ecology” is still in the development stage and has been relatively understudied in transport ecology. A significant contribution to this field was the book “Railway Ecology”, published in 2017, which provides a unique insight into the impacts of railways on biodiversity. The present study carried out a bibliographic review in order to identify the main gaps in this scarce area. A bibliographic survey was carried out using the Web of Science, Scopus and Google Scholar databases, searching for studies related to railway ecology. For this, two keywords were used: “Railway ecology” and “Railway wildlife”. A total of 1579 articles were found in all analyzed databases, however, for this study, 200 articles were considered. We found a significant increase in articles published with the keywords from 1997 to 2021. Furthermore, the studies were mostly for temperate regions. It was also observed that the works were more focused on large mammals, that collisions are the most studied impacts and that 73.75% of the articles do not present mitigation measures in their content. With that, a knowledge gap about Railway Ecology and railway wildlife, mainly in tropical environments. We highlight the importance of describing the impacts related to railways and their potential mitigation measures, especially in these areas and we hope that our review will help with information to minimize the gaps in the field of Ecology of Railways and their effects on biodiversity.

Keywords: Gap analysis; biodiversity; tropical areas; collisions; mitigation measures.

RESUMO GRÁFICO



3.1 INTRODUÇÃO

As ferrovias, como conhecemos hoje, são uma invenção recente na história humana, sendo principalmente um desenvolvimento do século XIX, mas cuja tecnologia está evoluindo rapidamente (BARRIENTOS *et al.*, 2019). Uma dessas evoluções está relacionada ao aumento na segurança ferroviária, não apenas para passageiros, trabalhadores ferroviários e carga, mas também para as populações humanas que vivem nas proximidades das ferrovias, principalmente quando comparada à segurança rodoviária. Além disso, as ferrovias exigem menos ocupação do solo do que outros meios de transporte, e o uso do solo é talvez o principal fator para a perda de biodiversidade em todo o mundo (BARRIENTOS *et al.*, 2017), pois ela gera outros problemas que levam a essa redução.

As linhas férreas têm uma pegada mundial de aproximadamente 1 milhão de km, com previsão de aumento de 45% até 2050 (POPP, J. N. *et al.*, 2017). Com isso, espera-se que as viagens globais de passageiros e carga dupliquem em relação ao seu nível em 2010 nas próximas décadas, e projeta-se que em todo o mundo serão necessários mais 25 milhões de quilômetros de estradas pavimentadas e 335.000 km de ferrovias para cumprir as demandas (TESTUD *et al.*, 2020).

No entanto, o Brasil apresenta, a despeito de suas dimensões férreas, uma baixa densidade de ferrovias. A extensão da rede ferroviária brasileira, segundo dados de 2006, era de 28.276 km, mas em 2009 tinha-se uma extensão de aproximadamente 30.810 km, ou seja, em relação a 2006, houve o crescimento de, apenas, 2.534 km até uma década atrás (ANTF, 2023; IPEA, 2009). Apesar disso, as estradas de ferro ainda são o segundo modal mais utilizado no país, concentrado principalmente para o transporte de cargas, como minérios e grãos (DOS SANTOS *et al.*, 2018; SILVA, FABIO CAVITONE *et al.*, 2015). Com investimentos expressivos realizados em 2021, verificou-se um elevado crescimento na frota de material rodante. Em 1997, as ferrovias contavam com 1.154 locomotivas; em 2021, já somam 3.297 unidades, representando um aumento de 186%. No mesmo período, o número de vagões passou de 43.816 para 114.974 — alta de 162% (ANTF, 2023), isso impacta diretamente no número de atropelamentos de animais silvestres nas ferrovias.

Entretanto, o campo da “ecologia de ferrovias” ainda está em fase de desenvolvimento (POPP, JESSE N.; HAMR, 2018) e tem sido relativamente subdesenvolvido no estudo da ecologia de transporte. Uma contribuição significativa para este campo é o livro “*Railway Ecology*” publicado em 2017 (BARRIENTOS *et al.*, 2017), que fornece uma visão única dos impactos das ferrovias na biodiversidade (HU *et al.*, 2020).

As ferrovias parecem exercer efeitos semelhantes às rodovias sobre a vida selvagem, no entanto seus efeitos ecológicos têm recebido muito menos atenção. Essa escassez de informações é lamentável porque, algumas vezes, as ferrovias causam mais acidentes fatais com animais do que as estradas adjacentes, com potencial para efeitos demográficos e danos a espécies de interesse de conservação (BACKS; NYCHKA; ST. CLAIR, 2020a). Isso, provavelmente, ocorre devido às colisões entre trens e animais, fato que não é visível para o público em geral (BARRIENTOS *et al.*, 2017), além de grande parte da malha ferroviária ser concessionada a empresas privadas e localizar-se em ambientes com acesso mais restrito, o que acaba omitindo a visualização dos impactos associados a essas infraestruturas (DASOLER, 2018), principalmente no Brasil, onde, a grande maioria das ferrovias são concessões para empresas privadas.

Mesmo com os impactos observados, ainda há falta de material para estudos mais concretos e relevantes, já que grande parte da compreensão relacionado aos efeitos das ferrovias vem de alguns trabalhos localizados ambientes temperados, como regiões da Europa e da América do Norte, com foco em algumas espécies, particularmente mamíferos ungulados e carnívoros (DORSEY; OLSSON; REW, 2015; SANTOS; CARVALHO; MIRA, 2017). Desta forma, é preciso mais estudos sobre ecologia ferroviária com foco em uma ampla gama de espécies para que diminua a lacuna de conhecimento sobre esse ponto tão importante para ecologia.

Ainda que as ferrovias obtenham maior valor ecológico que o transporte rodoviário de veículos, não significa que seus impactos negativos devam ser ignorados. Portanto, à medida que a rede ferroviária global aumenta, mais países promovem as ferrovias em vez do transporte rodoviário ou aéreo de pessoas e mercadorias, fazendo com que seja necessária uma revisão do estado do conhecimento em ecologia ferroviária (BARRIENTOS *et al.*, 2017). No Brasil, esse aumento é real e está no início, sendo

que compreender as principais consequências dessas implantações pode levar a uma diminuição considerável na perda de biodiversidade local.

Desta forma, para contribuir com o campo da ecologia de ferrovias, o objetivo dessa pesquisa não é apenas ser uma revisão teórica desse campo, mas sim analisar estatisticamente a área temática para fazer recomendações sobre como preencher as lacunas em nosso conhecimento especificamente relacionadas aos principais impactos causados pelas ferrovias, os países com maiores publicações sobre o tema, as espécies mais estudadas e as medidas de mitigação, quantificando todos os aspectos desta pesquisa.

3.2 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico em julho de 2021, utilizando as bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, buscando estudos relacionados à ecologia de ferrovias. Para isso, foram utilizadas duas palavras-chave: “*Railway ecology*” e “*Railway wildlife*”. Surgiu a demanda de se usar duas palavras pois apenas usando “*Railway ecology*” os resultados encontrados foram muito amplos, muitas vezes não relacionados à vida selvagem, por isso buscamos uma segunda palavra com o enfoque maior para essa área que foi “*Railway wildlife*”.

Foram encontrados 1579 artigos nas três bases analisadas, sendo que 371 eram publicações comuns entre elas. Esses 1208 artigos que restaram foram revisados para garantir sua relevância, sendo assim, 1008 não foram utilizados porque fugiam do tema proposto, uma vez que existiam trabalhos que não eram associados à ferrovia; aqueles que tratavam de ferrovias, mas não estavam relacionados à vida selvagem e, também, trabalhos relacionados às rodovias. Foram realizadas análises de apenas publicações de artigos científicos sem limitar os anos de pesquisa. Não foram incluídos nessas análises livros, teses e dissertações.

Os trabalhos foram organizados em planilhas eletrônicas. Em seguida, selecionamos os artigos que tratavam do tema proposto e registramos as seguintes informações para cada um dos trabalhos analisados: (1) título do trabalho; (2) ano de publicação; (3) país do estudo; (4) espécies estudadas; (5) impactos da ferrovia estudados ou citados e; (6) se citavam ou eram focados em medidas de mitigação.

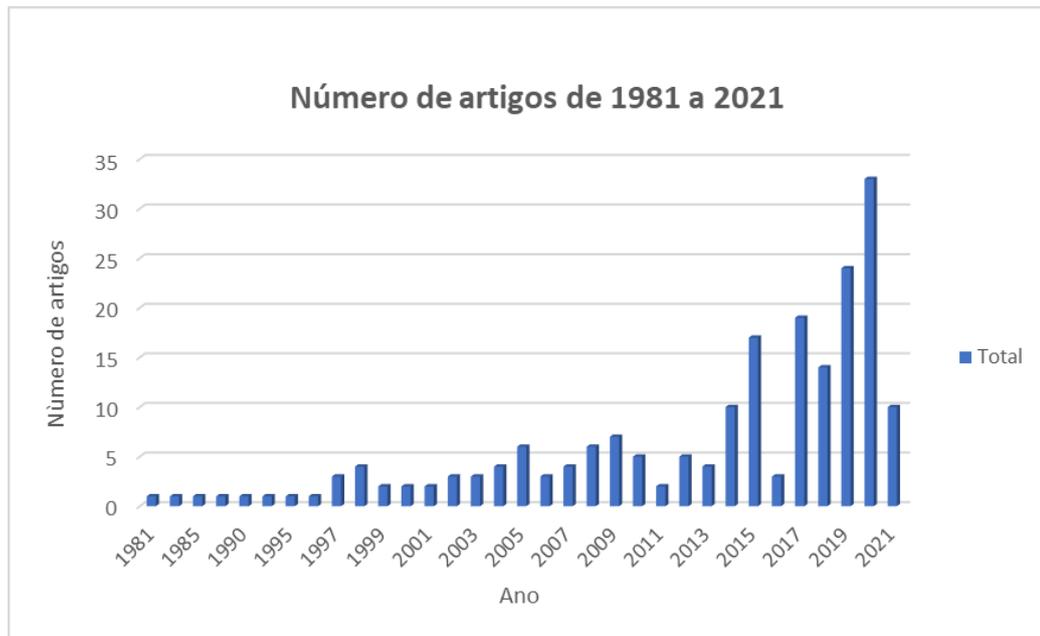
Primeiramente, realizamos testes de *Shapiro-Wilk* para testar a normalidade dos dados, sendo que os dados tinham distribuição não-normal (ZAR, 2010). Portanto, todos os testes estatísticos utilizados foram não paramétricos. A tendência temporal do número de artigos foi analisada por meio da correlação de *Spearman* (r_s). Para dados categóricos, usamos a análise *Qui-quadrado* para comparar os níveis de dados. Os testes de qui-quadrado foram realizados para o número de trabalhos publicados por ano, a localização, as espécies mais estudadas, os impactos e as medidas de mitigação.

3.3 RESULTADOS

Para as análises, foram utilizados 200 artigos. Desses, 35 foram considerados revisão de literatura, sendo que não havia possibilidade de análises relativas às questões propostas neste estudo, e cinco não possuíam acesso suficiente para realização da pesquisa. Assim, para esse estudo, considerou-se 160 artigos lidos na íntegra.

O número de artigos sobre ecologia de ferrovias publicados por ano cresceu significativamente nos últimos 30 anos (Figura 1). Tem-se uma correlação positiva significativa ($r_s = 0.756$, $n = 34$, $p < 0.001$). Além disso, observou-se um aumento acelerado de publicações após 2014. Considerando o número de artigos a partir de 1997 até 2021, pois os números dos anos anteriores eram muito pequenos (igual a um), a diferença entre o número de artigos publicados por ano é estatisticamente significativa ($X^2 = 190.513$, $DF = 24$, $n = 25$, $p < 0.001$).

Figura 1– Número total de publicações de artigos por ano usando o termo “Railway Ecology” e “Railway Wildlife”



Em relação à localidade, os artigos não foram distribuídos uniformemente em todo o mundo, com um aumento de publicações para áreas temperadas. Foram desenvolvidos estudos em 42 diferentes países ($n = 42$), sendo que os 10 países com maior número de estudos foram: China ($n = 22$; 13,75%), Canadá ($n = 18$; 11,25%), Índia ($n = 13$; 8,12%), Estados Unidos ($n = 12$; 7,50%), Polônia ($n = 8$; 5%), França ($n = 6$; 3,75%), Espanha e República Tcheca ($n = 5$; 3,12%), Brasil e Suíça ($n = 4$; 2,5%) (Figura 2). Houve uma diferença significativa no número de estudos por país ($\chi^2 = 37.330$, $DF = 9$, $n = 10$, $p = 0.0001$), com China, Canadá, Índia e Estados Unidos publicando mais artigos do que o esperado com base em uma distribuição global uniforme (Figura 3).

Figura 2- Mapa de distribuição das publicações de artigos encontrados usando o termo “Railway Ecology” e “Railway Wildlife”

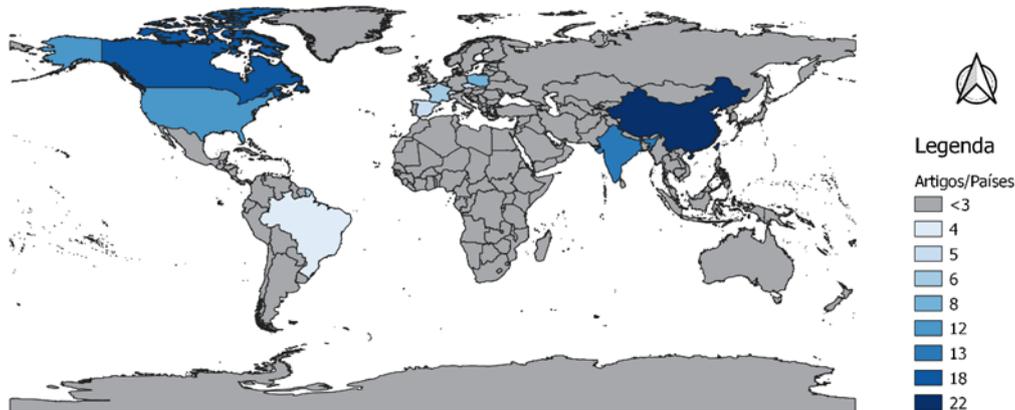
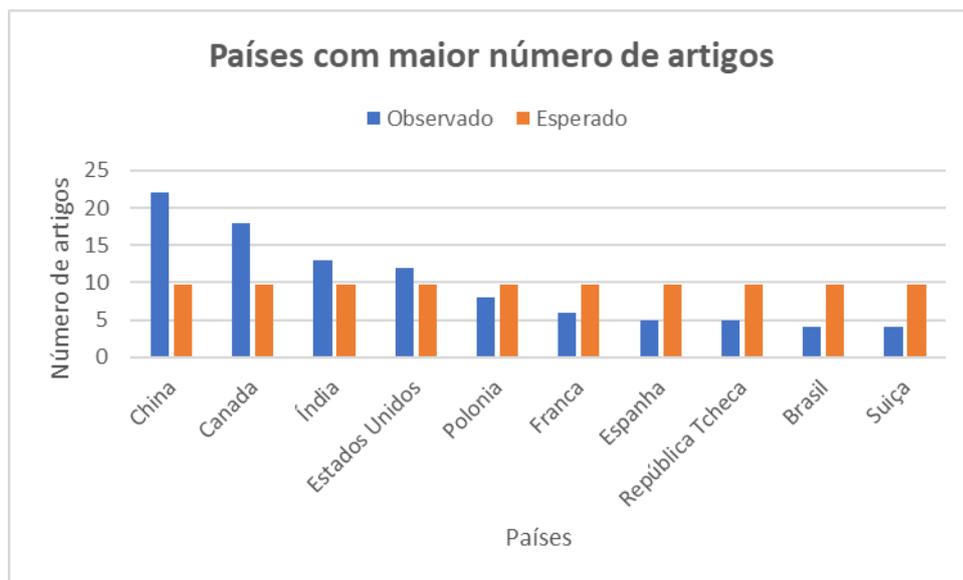


Figura 3- Número de artigos esperados e observados nos países com maiores publicações



Quando analisamos as espécies estudadas, em 38,12% (61 artigos) não foi descrita a espécie estudada e em 6,25 % (n= 10) a espécie em questão foi o urso pardo, seguindo do antílope tibetano com 5,62% (n=9). A raposa vermelha e o elefante asiático apresentaram 4,37% (n=7) e o alce, a gazela mongol e a corça 2,5% (n=4) (Tabela 1). O restante dos trabalhos (33,75%, n= 54) estudaram outras espécies diferentes das apresentadas, sendo que existe uma diferença significativa entre as espécies ($X^2 = 231.246$, DF = 9, n= 10, p= 0.0001). Desses restantes podemos listar algumas espécies de outros grupos faunísticos como as aves (ex: abutre-de-cabeça-vermelha, águia americana, pintassilgo-de-cabeça-branca), os répteis (ex: cobra lisa

austríaca, crocodilo persa, tartaruga do deserto) e os anfíbios (ex: rã arbórea europeia, sapo cururu, salamandra lisa).

Tabela 1- Porcentagem do número de espécies estudadas

Espécie	N	Porcentagem (%)
Não descrita	61	38,12
Outros	54	33,75
Urso pardo (<i>Ursus arctos</i>)	10	6,25
Antílope tibetano (<i>Pantholops hodgsonii</i>)	9	5,62
Elefante asiático (<i>Elephas maximus</i>)	7	4,37
Raposa vermelha (<i>Vulpes vulpes</i>)	7	4,37
Alce (<i>Alces alces</i>)	4	2,5
Gazela Mongol (<i>Procapra gutturosa</i>)	4	2,5
Corça (<i>Capreolus capreolus</i>)	4	2,5

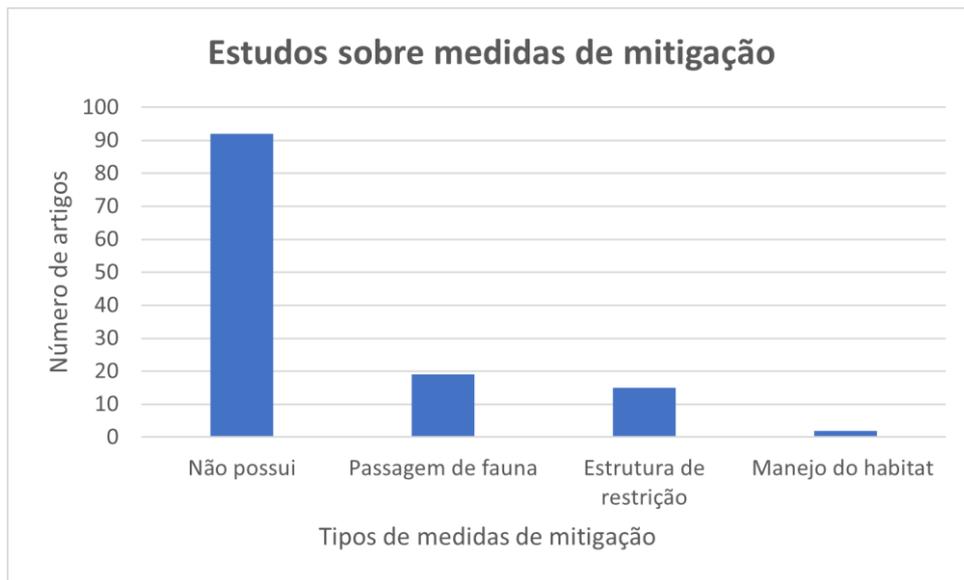
Em relação aos tipos de impactos, os cinco mais estudados são: colisões com 30,6% (n=49); efeito barreira com 20% (n=32); dispersão com 9,3% (n=15), impactos ambientais com 7,5% (n=12) e efeito de borda com 6,2% (n=10) (Tabela 2). Os outros 26,25 % (n= 42) são impactos que foram menos estudados (ex: utilização da ferrovia como habitat, poluição sonora, mudança no uso do solo, etc.). Observamos que há uma diferença significativa entre os tipos de impactos estudados ($X^2 = 47.000$, DF = 4, n= 5, p= 0.0001).

Tabela 2 - Porcentagem de impactos estudados

Impactos	N	Porcentagem
Colisões	49	30,6
Efeito barreira	32	20,0
Dispersão	15	9,3
Impactos ambientais	12	7,5
Efeito de borda	10	6,2

A maioria dos artigos (73,75%, n= 118) não apresentaram estudos ou sugestões de medidas para mitigar os impactos, 13,75% (n= 22) apresentaram medidas relacionadas às passagens de fauna; 10,0% (n=14) sobre estruturas de restrição ao movimento (como as cercas de exclusão) e apenas 2,5% falaram sobre o manejo do habitat (Figura 4), sendo que existe uma diferença estatisticamente significativa entre as medidas ($X^2 = 207.000$, DF = 3, n= 4, p= 0.0001).

Figura 4 - Quantitativo das medidas de mitigação



3.4 DISCUSSÃO

Apesar do aumento do número de publicações durante os anos, a ecologia ferroviária apresenta várias dificuldades únicas que ainda precisam ser superadas para avançar como um ramo da ecologia de transportes. Os estudos ferroviários estão subdesenvolvidos, possivelmente relacionado à falta de financiamento disponível. Além disso, devido às localidades ferroviárias serem frequentemente de difícil acesso, as mortalidades ferroviárias raramente são vistas pelo público, reduzindo o potencial de preocupação pública e, portanto, a vontade política para reduzir os impactos. Indiscutivelmente, o passo mais importante no avanço da ecologia ferroviária é engajar a cooperação com empresas ferroviárias ou proprietários, já que permissão e treinamento de segurança são frequentemente necessários para acessar essas propriedades (POPP, J. N.; BOYLE, 2017).

Em nossas análises tem-se que as áreas temperadas possuem um número maior de publicações sobre o campo da ecologia de ferrovias. Atualmente, as ferrovias localizam-se, em maior parte, em locais industrializados como a Europa e parte da Ásia, e em países populosos como a China e a Índia. Já em regiões em desenvolvimento, como África e a América Latina, o uso predominante entre os modais de transporte é o rodoviário ao invés do ferroviário. Os países com as maiores extensões férreas do mundo são: Estados Unidos, China, Rússia, Canadá e Índia (SILVA, FELIPE DE ABREU INÁCIO DA, 2011). A linha férrea desempenha um papel dominante no setor de transporte, com uma participação de 54,4% (excluindo o transporte marítimo internacional) no transporte de mercadorias e 39% no tráfego de passageiros (WU; NASH, 2000). Apesar de a malha brasileira ser pequena frente à malha desses países, as concessionárias de ferrovias de carga têm atingido um elevado ganho de produtividade graças aos investimentos crescentes e contínuos realizados nas duas últimas décadas e meia (ANTF, 2023). O Brasil possui um grande potencial para aumentar essa malha ferroviária, e é importante que se tenha estudos para evitar a perda de biodiversidade no país.

Países como China, Japão e EUA estão se esforçando muito no desenvolvimento de trens de alta velocidade (HSR) (SHARMA; KUMAR, 2014). Os HSRs, são um tema quente entre todos os padrões de transporte, pois produzem benefícios sociais e econômicos consideráveis. Eles são projetados para rapidez, economia de energia, segurança e conforto, dando vitalidade ao transporte ferroviário tradicional (ZHOU; SHEN, 2011). Os rápidos desenvolvimentos observados recentemente nas ferrovias de alta velocidade na China são surpreendentes. Os comprimentos e velocidades das linhas em operação já ultrapassaram a operação ferroviária de alta velocidade do Japão, tornando a rede de alta velocidade da China a número um no mundo (TAKAGI, 2011). Essa maior concentração de linhas férreas em regiões temperadas pode acabar ocasionando um maior número de impactos na vida selvagem, além de explicar o porquê dessas localidades possuírem mais publicações do que em as outras.

As espécies que mais foram estudados/observados nas ferrovias são os mamíferos, principalmente os de grande porte. Os grandes mamíferos são muitas vezes espécies carismáticas, que atraem a atenção do público (BARRIENTOS *et al.*, 2019), como

alces, ursos e elefantes. Esses animais recebem mais atenção por causarem mais danos aos trens, atrapalhando a operação normal da rede ferroviária, ou por estarem mais ameaçados (BARRIENTOS *et al.*, 2017). O fato de serem maiores os torna mais fáceis de observar e de causar acidentes, gerando perdas financeiras significativas (RECK; SCHMÜSER, 2019). Além do mais, eles fornecem carcaças que persistem por maior período de tempo sendo também mais facilmente detectáveis devido aos seus tamanhos (BARRIENTOS *et al.*, 2019), isso explica o número significativo de trabalhos com essas espécies.

Mamíferos maiores, conforme observado em BAOFA *et al.* (2006), podem ser mais tentados a atravessar estradas, seja para encontrar alimento ou parceiros reprodutivos. Esses hábitos acabam por expor estes animais aos perigos e efeitos das estradas. Um exemplo, é o antílope tibetano (*Pantholops hodgsonii*) que tem como característica a migração sazonal para a reprodução (XIA *et al.*, 2007), fazendo com que tenha o hábito de migrar com mais frequência, por isso cruza frequentemente a área entre rodovia e ferrovia (WANG, YUN *et al.*, 2017), podendo aumentar o risco de atropelamentos.

Outro exemplo são os elefantes, que são impulsionados pela necessidade de recursos como alimentos, água e minerais. Eles podem viajar grandes distâncias quando os recursos são escassos e seu comportamento de movimento espaço-temporal está principalmente relacionado ao ambiente que possui vegetação. Em áreas de alta densidade humana, os elefantes podem alterar seu comportamento e adotar estratégias de prevenção de riscos, como viajar à noite e se mover mais rápido por essas áreas, particularmente aumentando sua velocidade ao atravessar estradas movimentadas (OKITA-OUMA *et al.*, 2021). Essa característica pode levar esses animais a aumentarem o risco de serem atropelados, e animais desse porte causam enormes prejuízos econômicos e sociais, tanto em ferrovias, como rodovias.

Percebe-se que grande parte dos mamíferos são atraídos pelas ferrovias devido a disponibilidade de alimentos que são ofertados, assim causando um maior impacto nesses animais. Além disso, o antílope tibetano e o elefante asiático são considerados quase ameaçados e em perigo, respectivamente, de acordo com a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas (IUCN, 2022), o que justifica uma maior atenção com esses animais.

Observamos que as colisões entre animais selvagens são o impacto mais frequentemente relatado. As colisões de trens podem impactar substancialmente as populações de animais silvestres e, para algumas espécies, são consideradas uma das principais causas de mortalidade conhecida (POPP, JESSE N.; HAMR, 2018). Além disso, as colisões afetam a segurança dos passageiros, causam danos ao frete, atrasos de trens e até mesmo descarrilamentos, (BACKS; NYCHKA; ST. CLAIR, 2020b; KRAUZE-GRYZ *et al.*, 2017), isso justifica um aumento na necessidade de evitar os atropelamentos de fauna, sendo que ao evitar colisões com animais de grande porte, os de médio e pequeno porte também poderiam ser beneficiados.

Mais de um quarto das mortes de vertebrados terrestres no mundo são causadas por ações antrópicas, e as colisões com veículos são algumas das principais causas. (HILL; DEVAULT; BELANT, 2019). O impacto da mortalidade por colisões de veículos pode causar declínios populacionais e mudanças evolutivas mais rápidas em comparação com outros impactos, como a redução da conectividade, além de reduzir a abundância e a diversidade genética, diminuindo a persistência das populações (BRADY; RICHARDSON, 2017; JACKSON; FAHRIG, 2011; JAEGER; FAHRIG, 2004; TEIXEIRA; GONÇALVES, 2020), sendo assim, uma das maiores preocupações em relação à vida selvagem.

As ferrovias também atuam como um atrativo para os animais, pois elas podem aumentar as oportunidades de forrageamento para espécies herbívoras e granívoras por meio de derramamentos de grãos e manejo da vegetação ao lado da ferrovia (POPP, JESSE N.; HAMR, 2018). Além dos atrativos vegetais, colisões com animais selvagens produzem carcaças que podem atrair e aumentar o risco de mortalidade, pois os animais que consomem essas espécies podem ser atraídos para ferrovias como rota (GILHOLLY *et al.*, 2019).

As linhas ferroviárias também podem representar outros efeitos como a destruição do habitat devido ao desmatamento de florestas, alternância do habitat devido aos efeitos de borda, corredor de dispersão de sementes, poluição espalhada pelo meio de transporte sobre a flora e fauna, propagação de doenças, invasão de espécie não nativas, efeito barreira que está causando a separação populacional e genética (MOHAMMED *et al.*, 2021).

Além disso, essas infraestruturas podem interferir nos padrões de movimento animal, levar a mudanças na distribuição de espécies, seleção de recursos de habitat e densidade populacional, além de aumentar a mortalidade de animais selvagens por meio de colisões de veículos (OKITA-OUMA *et al.*, 2021). As ferrovias também podem funcionar como armadilhas ecológicas, atraindo organismos que preferem superfícies nuas e quentes ou até mesmo riscos únicos como aprisionamento de organismos entre trilhos sem acesso a água e alimentos (KAJZER-BONK *et al.*, 2019).

Um exemplo é o caso da tartaruga *gopher* (*Gopherus polyphemus*), as ferrovias atuam como uma barreira que prende as tartarugas entre os trilhos e, assim, acabam ficando desidratadas e/ou com fome, então morrem na ferrovia (RAUTSAW *et al.*, 2018). Isso significa que mesmo aquelas ferrovias abandonadas ou de baixo tráfego podem resultar em mortes de animais selvagens (DASOLER *et al.*, 2020), impactando diretamente na vida selvagem.

Poucos estudos se concentraram nos potenciais efeitos positivos de infraestruturas lineares. Por exemplo, algumas pesquisas indicaram que, apesar da pressão antrópica, muitos animais, incluindo aves, vivem na vizinhança de humanos e sua infraestrutura (WIAÇEK *et al.*, 2020). As aves podem usar estruturas lineares como habitat de reprodução devido a menor pressão predatória, temperatura mais alta e maior número de itens alimentares, incluindo os animais atropelados (KAJZER-BONK *et al.*, 2019). Além disso, podem ser habitats de substituição para plantas e insetos de pastagem, contribuindo assim para a conservação da flora e da fauna nativa (VANDEVELDE *et al.*, 2014), isso deve ser levado em conta nas proposições de medidas para diminuir o impacto desses empreendimentos na vida silvestre, já que a vegetação que cresce nas margens da ferrovia pode fornecer abrigo, alimento e locais de reprodução para insetos e outras espécies, aumentando sua sobrevivência e reprodução.

Observamos que ainda existe uma lacuna no campo das medidas de mitigação, já que se tem uma concentração em estratégias que consistem em estruturas de travessia de animais selvagens e sistema de exclusão. Assim, estruturas como galerias, passagens aéreas para vertebrados arborícolas e o manejo do habitat ainda são pouco estudadas. Na América do Norte, Europa e até mesmo no Brasil, diversos estudos têm sido realizados sobre medidas de mitigação para a fauna, como as

passagens de fauna inferiores e superiores. A maneira mais fácil e eficaz de manter essa conexão é construir passagens de fauna, das quais diferentes classes de animais conseguem se beneficiar, levando em consideração o maior número possível de espécies. Desta forma, deve-se considerar o tipo de passagem e as características do ambiente circundante. O maior desafio é projetar uma estrutura que não apenas conecte o ambiente, mas que também funcione de forma apropriada para as espécies, o que pode ser analisado através do número de cruzamentos dos animais (ABRA, 2012).

Um passo inicial no planejamento de mitigação para a vida selvagem é determinar se a mitigação deve ser específica do local ou do tempo, versus contínua e permanente. A mitigação específica do local pode proteger habitats críticos, aumentar a conectividade e reduzir o risco de mortalidade. Alternativamente, mitigações de tempo específico, como fechamentos noturnos de estradas, podem beneficiar a vida selvagem, particularmente durante as estações de maior atividade. Essas opções são geralmente mais rápidas e menos dispendiosas de implementar do que a mitigação espacialmente contínua e permanente, que muitas vezes é alcançada por meio de cercas de exclusão (ST. CLAIR *et al.*, 2020).

Autoridades de transporte em todo o mundo estão cada vez mais construindo estruturas de travessia de vida selvagem para mitigar os impactos negativos da infraestrutura de transporte sobre a vida selvagem (WANG, YUN *et al.*, 2018). Uma das principais tarefas do atual gerenciamento da vida selvagem e do planejamento do uso da terra é evitar a fragmentação de habitats por infraestrutura feita pelo homem ou restabelecer a conectividade entre populações fragmentadas em habitats anteriormente contíguos. Restaurar a conectividade geralmente envolve medidas caras, por exemplo, construir pontes verdes ou passagens sob infraestrutura de transporte muito utilizada, como rodovias ou ferrovias (HEPENSTRICK *et al.*, 2012). As estruturas de passagem de animais podem ser divididas em (1) passagens subterrâneas: geralmente de uso misto, para vertebrados terrestres e fauna aquática e semiaquática. São estruturas planejadas e construídas de concreto, podendo ter tamanhos variados, projetado para abranger animais que não dependem de cursos d'água; (2) passagens superiores comumente usadas por vertebrados arborícolas e (como primatas e marsupiais). Seu uso inclui conectar as copas das árvores por

ferrovia ou estrada via bambu e tubos (ALMEIDA, 2020). Como alternativa, passagens não-fauna (ou seja, colocadas e projetadas para outros propósitos que não permitir a travessia de vida selvagem), como estruturas de drenagem, comuns em todas as infraestruturas lineares, provaram ser práticas para várias espécies de vertebrados (RODRIGUEZ; CREMA; DELIBES, 1996). Essas mediadas devem ser acompanhadas de estudos que podem demonstrar a eficácia dessas para diminuição de riscos de atropelamento de fauna em empreendimentos lineares.

Em relação aos problemas causados pelas colisões entre animais selvagens e trens, existem algumas opções práticas de mitigação. Cercas de exclusão de vida selvagem, um meio eficaz de separar animais terrestres de veículos em estradas, pode não ser rentável para ferrovias onde as colisões são de pouco risco para a segurança humana. A cerca também pode exacerbar a baixa conectividade do habitat e a viabilidade da população, a menos que a barreira inclua lacunas na cerca (com risco potencial de aprisionamento) ou estruturas de travessia de vida selvagem (com grande custo) (BACKS; NYCHKA; ST. CLAIR, 2020b). Uma alternativa para a exclusão da vida selvagem nas estradas é a implantação de dispositivos (acústicos ou ópticos) em que a tarefa é alertar os animais contra o perigo que se aproxima (BABIŃSKA-WERKA *et al.*, 2015); a limpeza da vegetação nas ferrovias para limitar que os grãos derramados ou outros animais mortos por trens sejam um atrativo (BACKS; NYCHKA; ST. CLAIR, 2020b) e o uso dos repelentes de odor que são uma das medidas que podem afetar o comportamento dos animais (KUŠTA *et al.*, 2015), levando a uma diminuição considerável desse risco para os animais, mas essas alternativas ainda precisam ser mais estudadas para verificar a efetividade de cada método.

As possíveis soluções de mitigação estão disponíveis, mas são complexas e específicas para cada situação, não existindo uma única medida adequada a todas as situações possíveis (CSERKÉSZ *et al.*, 2013). Com isso, para melhorar o planejamento de mitigação nas ferrovias, é fundamental avaliar com precisão o número de fatalidades decorrentes desse tipo de infraestrutura (DASOLER *et al.*, 2020) para que em cada situação seja determinado a melhor medida de mitigação a ser implantada, levando a evitação de colisões com animais silvestres e contribuindo de maneira efetiva para conservação da biodiversidade.

Diante do exposto, reitera-se a importância do campo da ecologia de ferrovias para compreensão dos impactos na vida selvagem e de como este campo de conhecimento pode fornecer informações valiosas para o planejamento de novas ferrovias e para a expansão das já existentes, evitando, prevenindo e mitigando efeitos desses empreendimentos na biodiversidade. Isso inclui a identificação de áreas críticas para a fauna, o desenvolvimento de estratégias de mitigação, a avaliação da eficácia das medidas implementadas e o monitoramento dos impactos ambientais ao longo do tempo. Portanto, o estudo desse campo é importante não apenas para a conservação da biodiversidade e para a promoção da coexistência harmoniosa entre a ferrovia e a fauna local, conforme apresentado, mas também como possibilidade e garantia da sustentabilidade de infraestruturas ferroviárias, visando sempre reduzir os possíveis impactos negativos sobre o meio ambiente.

3.5 CONCLUSÃO

Relatamos lacunas de conhecimento sobre ecologia de ferrovias e vida selvagem nas ferrovias, principalmente em ambientes temperados. Destacamos a importância de descrever os impactos relacionados às ferrovias e suas potenciais medidas de mitigação, especialmente nestas áreas. Futuras linhas de pesquisa foram identificadas para abordar a lacuna de conhecimento na pesquisa de ecologia ferroviária. Recomenda-se que essas áreas sejam priorizadas, sem nenhuma ordem específica, nos próximos anos. As linhas de pesquisa são:

- Expansão dos estudos para uma ampla gama de espécies uma vez que o foco está concentrado nos grandes mamíferos;
- Aumentar e aprimorar os estudos em regiões tropicais;
- Avaliar e aumentar os estudos relacionados às medidas de mitigação. O projeto de BACI (Antes-Depois-Controle-Impacto) pode ser adequado para examinar os impactos, por se tratar de um método científico utilizado em estudos de impacto ambiental, que tem como objetivo avaliar a eficácia de medidas de mitigação ambiental em uma determinada área.

Finalmente, recomendamos aumentar as colaborações entre cientistas interessados em estudos de ecologia de ferrovias. Entendemos que esta é a melhor forma de

aprofundar o conhecimento sobre o assunto e a forma mais tangível de diminuir estas lacunas.

REFERÊNCIAS

ABRA, Fernanda D. **Monitoramento e Avaliação das Passagens Inferiores de Fauna Presentes na Rodovia SP-225 no Município de Brotas, São Paulo**. 2012.

ALMEIDA, Lygia Chagas De. **Tese de conclusão de curso**. 2020. [S. l.], 2020. No prelo

ANTF. **Associação Nacional dos Transportes Ferroviários**. 2023. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

BABIŃSKA-WERKA, Joanna; KRAUZE-GRYZ, Dagny; WASILEWSKI, Michał; JASIŃSKA, Karolina. Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S. l.], v. 38, p. 6–14, 2015. DOI: 10.1016/j.trd.2015.04.021.

BACKS, Jonathan A. J.; NYCHKA, John A.; ST. CLAIR, Colleen Cassidy. Warning systems triggered by trains increase flight-initiation times of wildlife. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S. l.], v. 87, n. September, p. 102502, 2020. a. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102502. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102502>.

BAOFA, Yin; HUYIN, Huai; YILI, Zhang; LE, Zhou; WANHONG, Wei. Influence of the Qinghai-Tibetan railway and highway on the activities of wild animals. **Acta Ecologica Sinica**, [S. l.], v. 26, n. 12, p. 3917–3923, 2006. DOI: 10.1016/S1872-2032(07)60001-8.

BARRIENTOS, Rafael; ASCENSÃO, Fernando; BEJA, Pedro; PEREIRA, Henrique M.; BORDA-DE-ÁGUA, Luís. Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. **European Journal of Wildlife Research**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 0–9, 2019. DOI: 10.1007/s10344-018-1248-0.

BARRIENTOS, Rafael; BORDA-DE-ÁGUA, Luís; BEJA, Pedro; M. PEREIRA, Henrique. **Railway ecology**. Cham: [s.n.], 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-57496-7_19.

BRADY, Steven P.; RICHARDSON, Jonathan L. Road ecology: shifting gears toward evolutionary perspectives. **Frontiers in Ecology and the Environment**, [S. l.], p. 1–8, 2017. DOI: 10.1002/fee.1458.

CSEKÉSZ, Tamás; OTTLECH, Barnabás; CSEKÉSZ-NAGY, Ágnes; FARKAS, János. Interchange as the main factor determining wildlife-vehicle collision hotspots on the fenced highways: Spatial analysis and applications. **European Journal of Wildlife Research**, [S. l.], v. 59, n. 4, p. 587–597, 2013. DOI: 10.1007/s10344-013-0710-2.

DASOLER, Bibiana Terra. **Fatalidades de mamíferos em ferrovias : como estimar quantos morrem e planejar mitigação?** 2018. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/221517>.

DASOLER, Bibiana Terra et al. The need to consider searcher efficiency and carcass persistence in railway wildlife fatality studies. **European Journal of Wildlife Research**, [S. l.], v. 66, n. 5, p. 1–6, 2020. DOI: 10.1007/s10344-020-01417-7.

DORSEY, Benjamin; OLSSON, Mattias; REW, Lisa J. Ecological Effects of Railways on Wildlife. In: **Handbook of Road Ecology**. [s.l.: s.n.]. p. 219–227. DOI: 10.1002/9781118568170.ch26.

DOS SANTOS, Debora Brito; LIMA, Rosana Da Costa; BASSI, Renata Elaine;

RODRIGUES, Enio Fernandes; MAIELLARO, Valéria Rufino. a Infraestrutura No Transporte Ferroviário No Brasil. **South American Development Society Journal**, [S. l.], v. 4, n. 10, p. 38–51, 2018. DOI: 10.24325/issn.2446-5763.v4i10p38-51.

GILHOOLY, Patrick S.; NIELSEN, Scott E.; WHITTINGTON, Jesse; ST. CLAIR, Colleen Cassady. Wildlife mortality on roads and railways following highway mitigation. **Ecosphere**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 1–16, 2019. DOI: 10.1002/ecs2.2597.

HEPENSTRICK, Daniel; THIEL, Dominik; HOLDEREGGER, Rolf; GUGERLI, Felix. Genetic discontinuities in roe deer (*Capreolus capreolus*) coincide with fenced transportation infrastructure. **Basic and Applied Ecology**, [S. l.], v. 13, n. 7, p. 631–638, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2012.08.009>.

HILL, Jacob. E.; DEVAULT, Travis. L.; BELANT, Jerrold L. Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 5, p. 680-689, 2019.

HU, Han et al. Evaluating bird collision risk of a high-speed railway for the crested ibis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S. l.], v. 87, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102533>.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Transporte Ferroviário**. 2009. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/presenca/index.php?option=com_content&view=article&id=28&Itemid=18>

IUCN 2022. *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2022. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org>>.

JACKSON, Nathan D.; FAHRIG, Lenore. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 144, n. 12, p. 3143–3148, 2011. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.09.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.010>.

JAEGER, Jochen A. G.; FAHRIG, Lenore. Effects of road fencing on population persistence. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 18, n. 6, p. 1651–1657, 2004. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2004.00304.x.

KAJZER-BONK, Joanna; SKÓRKA, Piotr; BONK, Maciej; LENDA, Magdalena; ROŻEJ-PABIJAN, Elżbieta; WANTUCH, Marta; MOROŃ, Dawid. The effect of railways on bird diversity in farmland. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 26, n. 30, p. 31086–31098, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-06245-0.

KRAUZE-GRYZ, Dagny; ŻMIHORSKI, Michał; JASIŃSKA, Karolina; KWAŚNY, Łukasz; WERKA, Joanna. Temporal pattern of wildlife-train collisions in Poland. **Journal of Wildlife Management**, [S. l.], v. 81, n. 8, p. 1513–1519, 2017. DOI: 10.1002/jwmg.21311.

KUŠTA, Tomáš; KEKEN, Zdeněk; JEŽEK, Miloš; KŮTA, Zdeněk. Effectiveness and costs of odor repellents in wildlife-vehicle collisions: A case study in Central Bohemia, Czech Republic. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S. l.], v. 38, p. 1–5, 2015. DOI: 10.1016/j.trd.2015.04.017.

MOHAMMED; BHUIYAN, Abdur Rakib; MIA, Arshad; SARKER, Ananta; KHAN, Ariful. Effect of transportation infrastructure on forest plant diversity and soil properties in Lawachara National Park, Bangladesh. **Acta Ecologica Sinica**, [S. l.], v. 42, n. 1, p. 1–11, 2021. DOI: 10.1016/j.chnaes.2021.08.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.08.015>.

OKITA-OUMA, Benson; KOSKEI, Michael; TILLER, Lydia; LALA, Fredrick; KING, Lucy; MOLLER, Richard; AMIN, Rajan; DOUGLAS-HAMILTON, Iain. Effectiveness of wildlife underpasses and culverts in connecting elephant habitats: a case study of new railway

through Kenya's Tsavo National Parks. **African Journal of Ecology**, [S. l.], v. 59, n. 3, p. 624–640, 2021. DOI: 10.1111/aje.12873.

POPP, J. N.; BOYLE, S. P. Railway ecology: Underrepresented in science? **Basic and Applied Ecology**, [S. l.], v. 19, p. 84–93, 2017. DOI: 10.1016/j.baae.2016.11.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2016.11.006>.

POPP, J. N.; HAMR, J.; CHAN, C.; MALLORY, F. F. Elk (*Cervus elaphus*) railway mortality in Ontario. **Canadian Journal of Zoology**, [S. l.], v. 96, n. 9, p. 1066–1070, 2017. DOI: 10.1139/cjz-2017-0255.

POPP, Jesse N.; HAMR, Josef. Seasonal use of railways by wildlife. **Diversity**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 1–10, 2018. DOI: 10.3390/d10040104.

RECK, Heinrich; SCHMÜSER, Heiko. Railway mortality, more than a minor matter? **Faunistisch-ökologische Mitteilungen**, [S. l.], v. 10, p. 23–27, 2019.

RODRIGUEZ, Alejandro; CREMA, Giulia; DELIBES, Miguel. Use of Non-Wildlife Passages Across a High Speed Railway by Terrestrial Vertebrates Author (s): Alejandro Rodriguez , Giulia Crema and Miguel Delibes Source : Journal of Applied Ecology , Vol . 33 , No . 6 (Dec . , 1996), pp . 1527-1540 Published by : **British Ecological Society**, [S. l.], v. 33, n. 6, p. 1527–1540, 1996.

SANTOS, Sara M.; CARVALHO, Filipe; MIRA, António. Current Knowledge on Wildlife Mortality in Railways. *In*: **Railway Ecology**. [s.l.: s.n.]. p. 1–320. DOI: 10.1007/978-3-319-57496-7.

SHARMA, Sunil Kumar; KUMAR, Anil. A COMPARATIVE STUDY OF INDIAN AND WORLD WIDE RAILWAYS. **International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 115–120, 2014.

SILVA, Felipe de Abreu Inácio Da. **Infraestrutura ferroviária e desenvolvimento econômico: o caso de um projeto de grande vulto**. 2011. [S. l.], 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/38297>.

SILVA, Fabio Cavitione; PETERS, Felipe Bortolotto; ROTH, Paulo Ricardo De Oliveira; CHRISTOFF, Alexandre Uarth. Mamíferos De Médio E Grande Porte Atropelados Por Trens No Extremo Sul Do Brasil. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, [S. l.], v. 1, n. 13, p. 19–29, 2015.

ST. CLAIR, Colleen Cassidy; WHITTINGTON, Jesse; FORSHNER, Anne; GANGADHARAN, Aditya; LASKIN, David N. Railway mortality for several mammal species increases with train speed, proximity to water, and track curvature. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-77321-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77321-6>.

TAKAGI, Kiyoharu. Expansion of High-Speed Rail Services Development of High-Speed Railways in China Necessity for High-Speed Railways. **Japan Railway & Transport Review**, [S. l.], n. 57, p. 36–41, 2011.

TEIXEIRA, Fernanda; GONÇALVES, Larissa. Ecologia De Estradas: Como Aplicar Ciência À Gestão Ambiental. *In*: **Planejamento e gestão territorial: inovação, tecnologia e sustentabilidade**. [s.l.: s.n.]. p. 45–67. DOI: 10.18616/plansus02.

TESTUD, Guillaume; FAUCONNIER, Clément; LABARRAQUE, Dorothée; LENGAGNE, Thierry; LE PETITCORPS, Quentin; PICARD, Damien; MIAUD, Claude. Acoustic enrichment in wildlife passages under railways improves their use by amphibians. **Global Ecology and Conservation**, [S. l.], v. 24, p. 1–12, 2020. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01252.

VANDEVELDE, Jean Christophe; BOUHOURS, Alice; JULIEN, Jean François; COUVET,

- Denis; KERBIRIOU, Christian. Activity of European common bats along railway verges. **Ecological Engineering**, [S. l.], v. 64, p. 49–56, 2014. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.12.025.
- WANG, Yun; GUAN, Lei; CHEN, Jiding; KONG, Yaping. Influences on mammals frequency of use of small bridges and culverts along the Qinghai–Tibet railway, China. **Ecological Research**, [S. l.], v. 33, n. 5, p. 879–887, 2018. DOI: 10.1007/s11284-018-1578-0.
- WANG, Yun; GUAN, Lei; CHEN, Jiding; KONG, Yaping; SI, Lang; SHAH, Asif. The overlapping impact of qinghai-tibet highway and railway on ungulates. **Pakistan Journal of Zoology**, [S. l.], v. 49, n. 4, p. 1507–1510, 2017. DOI: 10.17582/journal.pjz/2017.49.4.sc3.
- WIĄCEK, Jarosław; POLAK, Marcin; FILIPIUK, Maciej; KUCHARCZYK, Marek; DAWIDOWICZ, Łukasz. Do railway lines affect the distribution of woodland birds during autumn? **PLoS ONE**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0231301.
- WU, Jian Hong; NASH, Chris. Railway reform in china. **Transport Reviews**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 25–48, 2000. DOI: 10.1080/014416400295329.
- XIA, Lin; YANG, Qisen; LI, Zengchao; WU, Yonghua; FENG, Zuojian. The effect of the Qinghai-Tibet railway on the migration of Tibetan antelope *Pantholops hodgsonii* in Hoh-xil National Nature Reserve, China. **Oryx**, [S. l.], v. 41, n. 3, p. 352–357, 2007. DOI: 10.1017/S0030605307000116.
- ZAR, JH, 2010. **Análise Bioestatística**. Prentice-Hall/Pearson, Upple Saddle River.
- ZHOU, Li; SHEN, Zhiyun. Progress in high-speed train technology around the world. **Journal of Modern Transportation**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 1–6, 2011. DOI: 10.1007/bf03325733.

4 CAPÍTULO 2: Distribuição espaço-temporal de atropelamento de *Euphractus sexcinctus* (tatupeba) na Ferrovia Norte-Sul

RESUMO

A construção de ferrovias é vista como um projeto que traz benefícios econômicos e sociais, mas também traz impactos ambientais significativos, como a fragmentação de áreas naturais e o efeito barreira, afetando a biodiversidade. Acidentes ferroviários envolvendo animais são comuns e estudos mostram que a fragmentação e as variações sazonais podem influenciar no número de acidentes. Nesse contexto, esse estudo foi realizado para determinar as principais causas dos atropelamentos de *Euphractus sexcinctus* (tatupeba) na Ferrovia Norte-Sul, levando em consideração a Cobertura Vegetal e Uso da Terra (CVUT), o tráfego dos trens na via, e a variação sazonal, além de análises espaciais de agregação de atropelamentos. Foram registrados 339 atropelamentos dessa espécie entre maio de 2013 até dezembro de 2021, sendo que o aumento no número de pares de trem resulta em um aumento no número de atropelamentos. A sazonalidade e o grau de antropização do habitat não parecem ser um fator determinante para o aumento das fatalidades em relação a essa espécie. Através das análises espaciais de atropelamento foram identificados dois locais potenciais para a instalação de medidas de mitigação, destacando a importância de mais pesquisas em ecologia de ferrovias no Brasil e a implementação de medidas mitigadoras durante a construção de grandes projetos de infraestrutura, como passagens elevadas para a fauna, passagens subterrâneas e corredores ecológicos. Estudos como este são essenciais para entender melhor os impactos dessa infraestrutura na biodiversidade e para desenvolver medidas de mitigação e gestão dos riscos associados à presença de animais nas áreas próximas às linhas férreas.

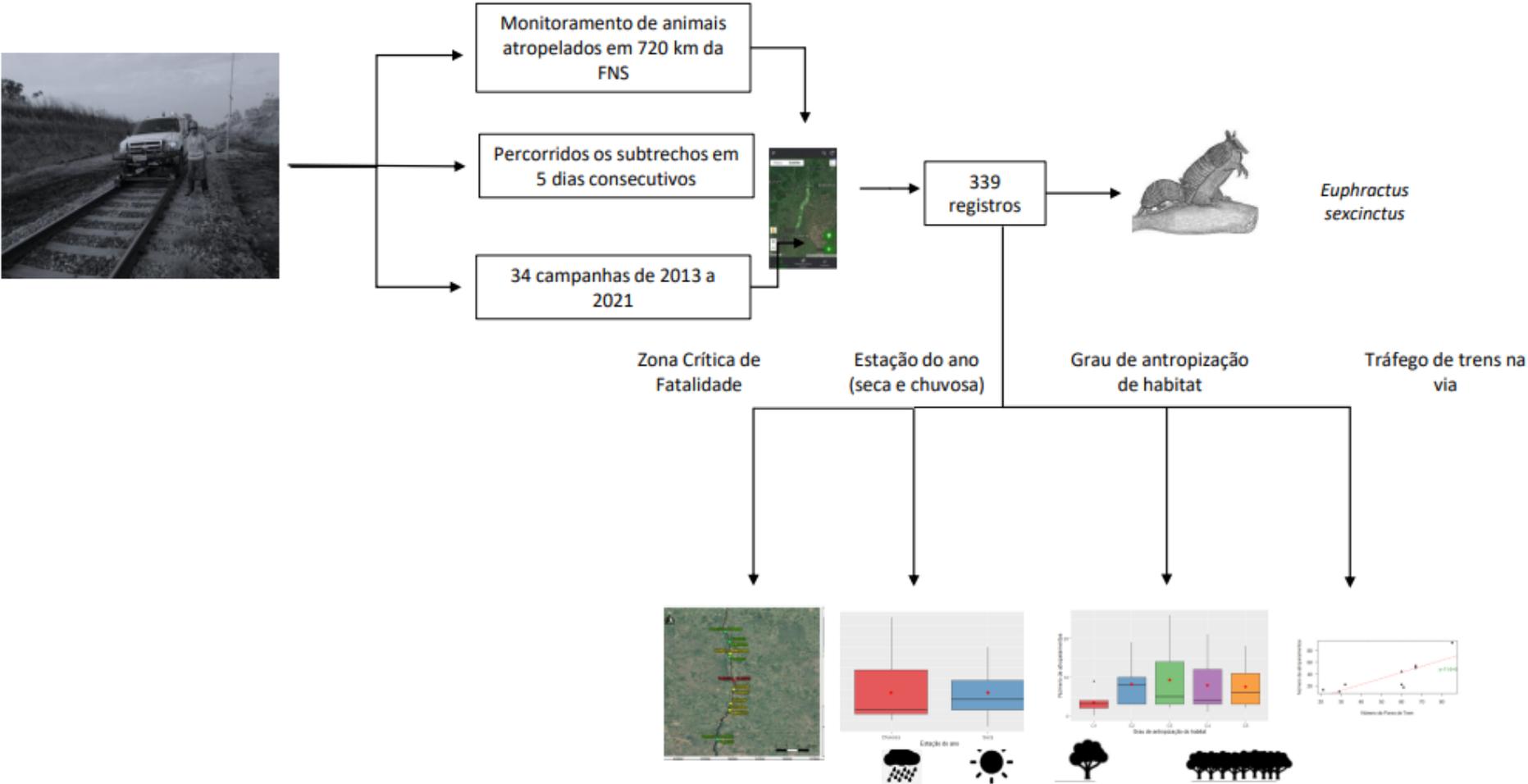
Palavras-chave: Atropelamento de fauna; tatupeba; Medida de mitigação; Ferrovia Norte-Sul.

ABSTRACT

The construction of railways is seen as a project that brings economic and social benefits, but also brings significant environmental impacts, such as the fragmentation of natural areas and the barrier effect, affecting biodiversity. Railway accidents involving animals are common and studies show that fragmentation and seasonal variations can influence the number of accidents. In this context, this study was carried out to determine the main causes of *Euphractus sexcinctus* (tatupeba) being run over on the North-South Railroad, taking into account the Vegetal Coverage and Land Use (CVUT), the train traffic on the track, and the variation seasonal, in addition to spatial analysis of aggregation of roadkills. A total of 339 roadkills of this kind were recorded between May 2013 and December 2021, with an increase in the number of train pairs resulting in an increase in the number of roadkills. Seasonality and the degree of anthropization of the habitat do not seem to be a determining factor for the increase in fatalities in relation to this species. Through the spatial analysis of trampling, two potential locations for the installation of mitigation measures were identified, highlighting the importance of further research in railroad ecology in Brazil and the implementation of mitigation measures during the construction of large infrastructure projects, such as overpasses for the fauna, underground passages and ecological corridors. Studies like this one are essential to better understand the impacts of this infrastructure on biodiversity and to develop measures to mitigate and manage risks associated with the presence of animals in areas close to railway lines.

Keywords: Fauna running over; armadillo; Mitigation measure; North-South Railway.

RESUMO GRÁFICO



4.1 INTRODUÇÃO

Os empreendimentos de construção de linhas ferroviárias têm sido amplamente reconhecidos como projetos que trazem benefícios econômicos e sociais para as regiões onde se encontram, melhorando a qualidade de vida dos moradores, além de fazerem parte da pauta do estado brasileiro e iniciativa privada, apresentando-se como política pública de desenvolvimento nacional. Esses projetos são um elemento crucial para o progresso das regiões, pois são uma alternativa à integração intrarregional, interligando os estados e favorecendo o escoamento da produção pelo país (PAINKOW NETO; SILVA, 2017).

A rede ferroviária no Brasil ainda é pequena e limitada a algumas cargas. Não aconteceram grandes modificações nas ferrovias por muitos anos, mas elas têm sido aprimoradas desde o início do século. Segundo Pires; Campos (2019) a Ferrovia Norte-Sul (FNS) faz parte do volumoso Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Esta ação em particular do Governo Federal contou com investimentos próximos a R\$ 6,52 bilhões, contendo a clara intenção de promover desenvolvimento socioeconômico em todo país e, por meio da FNS, promover uma maior integração entre o território nacional de norte a sul, retomando investimentos significativos em projetos ferroviários. O objetivo dos investimentos era estabelecer, por meio de uma relação público-privada, um eixo de transporte competitivo entre as regiões norte e sul, representando uma alternativa viável e mais econômica para o transporte de cargas de longa distância permitindo, desta forma, estabelecer o acesso da região central do Brasil aos portos localizados ao norte do país formando um sistema de transporte ferroviário amplo e voltado ao fortalecimento do mercado interno e externo (CASTRO; SCHLAG; SCHLAG, 2018; UNIÃO, 2012). No entanto, como é comum aos empreendimentos desta dimensão territorial, a adoção das ferrovias como alternativa viária altera de sobremaneira os ecossistemas. As linhas férreas em questão trazem impactos ambientais negativos, como a fragmentação de áreas naturais, efeito barreira, atropelamento de fauna, dentre outros.

Um dos maiores efeitos negativos para a conservação da biodiversidade é a fragmentação de áreas naturais que por meio de ações impactantes causam alterações significativas à natureza (COFFIN, 2007; LAURANCE *et al.*, 2009). O

estabelecimento de estradas ou ferrovias, mesmo que próximas ou que interceptam diretamente os fragmentos, podem sim alterar a biodiversidade desses locais (HANSEN; CLEVINGER, 2005; SOUSA *et al.*, 2009). Além disso, a fragmentação de paisagem, pode resultar em um aumento do efeito de borda e isolamento de populações onde se estabelecem (DEVELEY; STOUFFER, 2001; MURCIA, 1995; SOUSA *et al.*, 2009), além de, poder causar a redução do fluxo gênico de fauna entre remanescentes florestais e gerar endogamia nas comunidades faunísticas presentes no local (PAINKOW NETO; SILVA, 2017).

Observa-se que a fragmentação de áreas naturais contribui diretamente para atropelamentos, já que alteram a dinâmica do habitat e a disponibilidade local de alimento, influenciando no deslocamento natural das espécies afetadas para acessar alimentos (CLEVINGER; CHRUSZCZ; GUNSON, 2003 e FORMAN; ALEXANDER, 1998). Além disso, estudos têm indicado que variações sazonais também podem influenciar nos números de atropelamentos de animais, dependendo do táxon (SANTOS *et al.*, 2012).

Acreditava-se equivocadamente que as colisões entre trens e animais selvagens eram menos preocupantes para a conservação por causa do tamanho menor das redes ferroviárias em comparação às rodoviárias e da falta de estimativas precisas de mortes de animais. Entretanto, alguns autores sugerem que as fatalidades podem ser tão numerosas quanto as ocorridas em estradas ou até mais impactantes em certos casos (DASOLER *et al.*, 2020). Em um capítulo do livro *Railway Ecology*, Forman *et al.* (2003) observa que a mortalidade de animais silvestres como resultado das colisões com veículos ainda é a principal causa de impacto sobre a fauna.

As estruturas lineares são um dos principais fatores que afetam o funcionamento das populações de animais e plantas em paisagens dominadas pela atividade humana. Além disso, as linhas de transporte podem funcionar como armadilhas ecológicas atraindo organismos que preferem superfícies quentes ou prendendo organismos entre trilhos sem acesso a água e alimentos (KAJZER-BONK *et al.*, 2019).

As infraestruturas se apresentam como um potencial agravante para o risco de extinção de espécies que apresentam baixas densidades e para as que convivem com algum grau de ameaça. As espécies que estão mais propícias a acidentes são aquelas

que apresentam maior capacidade de deslocamento, geralmente para acessar alimentos, água, parceiros sexuais, e que apresentam tendência a baixa taxa de reprodução (CARVALHO, 2014; OLIVEIRA, 2011).

A espécie *Euphractus sexcinctus* (tatupeba) é exclusivamente encontrada na região sul-americana, sendo o único representante de seu gênero (CHAHUD, 2021). Esta espécie é encontrada em habitat característico, onde são encontradas formações de vegetação mais aberta, em bordas de florestas ou em áreas com pastagens exóticas. No Brasil, a espécie tem maior ocorrência nos biomas Amazônico, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Campos Sulinos (ZAMBRINI, 2015). Sobre a ocorrência da espécie tatupeba em bordas de mata, considera-se essa condição um agravante para seu alto índice de atropelamento, uma vez que infraestruturas como estradas e ferrovias geram efeito de borda e descontinuidades na vegetação nativa, potencializando a mortandade da espécie (CIRINO *et al.*, 2022).

Embora o tatupeba seja uma espécie amplamente distribuída, encontrada na maioria dos biomas, e que detém alta tolerância a modificações de habitat, é uma das maiores vítimas de atropelamentos no Pantanal e da caça predatória. Dada esta condição, é necessário encontrar maneiras efetivas de minimizar os impactos sobre a espécie, como a adoção de medidas com vistas à mitigação da mortandade, implantando estratégias para promover a conservação da biodiversidade (ASCENSÃO *et al.*, 2017; DESBIEZ *et al.*, 2022). Não se tem dados de atropelamentos dessa espécie em ferrovias.

Diante do exposto, esse trabalho apresenta sua importância e significativa relevância pela inerente condição do tatupeba ser uma espécie exclusiva encontrada na América do Sul, além da condição de espécie endêmica, existir grandes lacunas de estudos sobre os impactos ambientais causados pela ferrovia na vida da espécie. Além disso, reitera-se que o objetivo norteador deste estudo é determinar as principais causas dos atropelamentos de *Euphractus sexcinctus* na Ferrovia Norte-Sul, levando em consideração a Cobertura Vegetal e Uso da Terra (CVUT), o tráfego dos trens na via, e a variação sazonal, além de determinar os trechos de agregação de atropelamento dessa espécie, indicando no processo potenciais medidas de mitigação relacionadas à diminuição da ocorrência desses atropelamentos, e sendo o primeiro trabalho a considerar a espécie como foco de conservação.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Área de Estudo

Este estudo foi realizado em um trecho específico da Ferrovia Norte-Sul (FNS) compreendendo 720 km entre Açailândia/MA - Porto Nacional/TO (Figura 5). A FNS é utilizada principalmente para o transporte de grãos, celulose, minério e combustível e foi planejada com o intuito de conectar as regiões Norte e Nordeste com o Sul e Sudeste do país por meio dos seus 4.155 Km de extensão total, permitindo que os custos com o transporte para longas distâncias fossem minimizados. Desta forma, a ferrovia majoritariamente atravessa boa parte do Cerrado brasileiro, passando por 1,8 milhão de km² em seu projeto completo (RODRIGUEZ, 2011; VASCONCELOS, 2019), área expressiva que certamente traz impactos significativos sobre a biodiversidade do bioma que é considerado um dos *hotspots* mundiais (Myers *et al.*, 2000).

A ferrovia está localizada entre dois importantes biomas brasileiros: o Cerrado e a Amazônia (Figura 6). O Cerrado brasileiro é a segunda maior formação vegetal da América do Sul, com aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados, só perdendo em tamanho para a Amazônia (WWF, 2012). Esta é uma das regiões mais biodiversas do planeta e ocupa 25% do território nacional. Quando avaliada a partir das espécies silvestres, especialmente em mamíferos, o cerrado tem a terceira maior biodiversidade no Brasil (PAGLIA *et al.*, 2012).

A temperatura anual da região varia de aproximadamente, 25,0 °C a 26,7 °C, com uma precipitação média anual de 1744,00 mm. Além disso, a área de estudo apresenta um Modelo Digital de Elevação predominantemente suave ondulado, mas com alguns trechos com o terreno ondulado e forte ondulado.

Figura 5 – Localização da Ferrovia Norte-Sul no Brasil

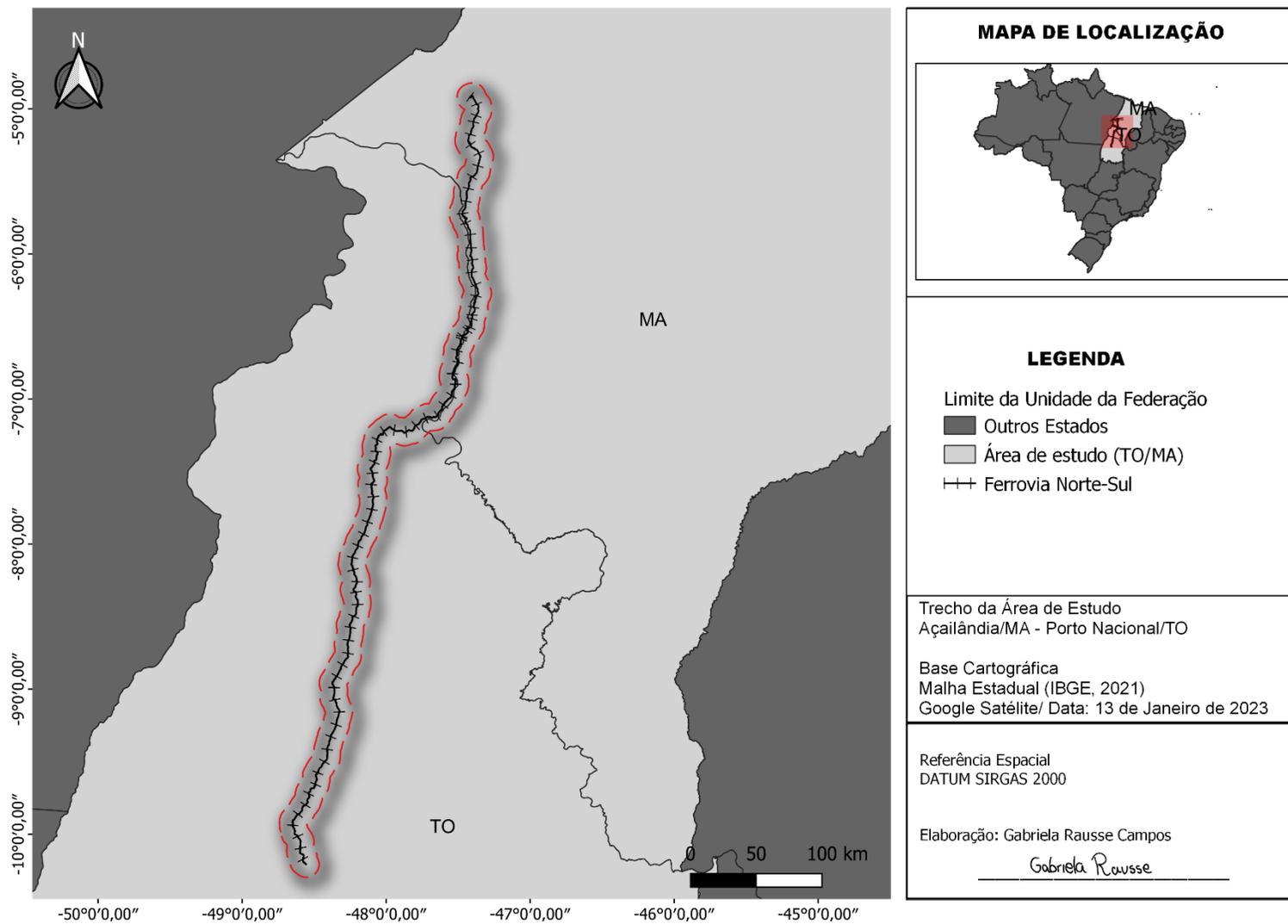
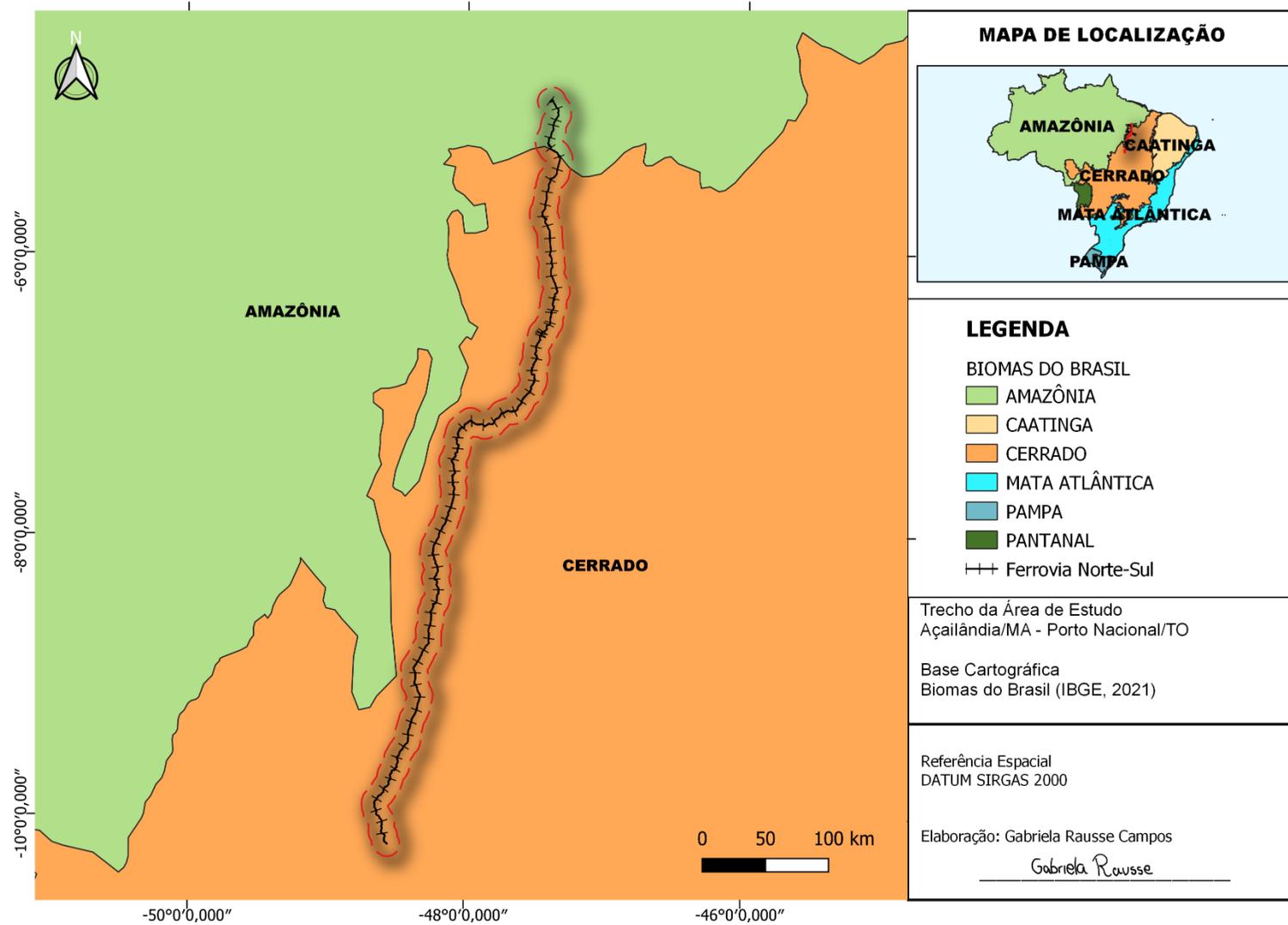


Figura 6 – Biomas da área de estudo



4.2.2 *Euphractus sexcinctus* – tatupeba

O tatupeba é uma espécie sul-americana exclusiva da família Chlamyphoridae da Ordem Cingulata. É o único representante do seu gênero, o terceiro maior Cingulata atual, com um comprimento que varia entre 40 e 50 cm, sendo 10 cm de crânio, e um peso que pode chegar a 6,5 kg. Quanto ao tamanho, a espécie é menor apenas que o tatu-canastra (*Priodontes maximus*) e tatu-de-quinze-quilos (*Dasypus kappleri*), que são os dois maiores Cingulata atualmente conhecidos (REDFORD & WETZEL, 1985; SMITH, 2007).

Sobre os seus hábitos, o tatupeba é uma espécie mais ativa durante o dia, embora também possa ser encontrada em atividade durante a noite (ENCARNAÇÃO, 1987; (MEDRI; MOURÃO; MARINHO-FILHO, 2009). São encontrados em sua maioria em áreas abertas com vegetação, em bordas de florestas e em pastagens exóticas, mas em alguns casos, podemos encontrar a espécie em vegetação mais densa, como cerrados e florestas. A atividade dos tatupebas está relacionada diretamente com a termorregulação da espécie, com maior utilização das áreas mais densas nos períodos mais quentes, sazonalmente no período seco, e áreas mais abertas durante o período frio, comumente no inverno. O tamanho da área de vida dessa espécie varia entre 0,001 e 0,964 km² (MPC 100%) ou 0,0015 a 1,90 km² (Kernel Fixo 95%) (DESBIEZ *et al.*, 2022).

Quanto às suas características, o tatupeba apresenta tom esbranquiçado na pelagem e a carapaça apresenta variação entre tons pardo-amarelados e marrons claros, com seis a oito faixas de osteodermos centrais que formam cintas móveis (REDFORD & WETZEL, 1985). Tem alimentação variada, caracterizada dentro do grupo dos onívoros, com dieta baseada em uma grande variedade de alimentos, como frutos, tubérculos, invertebrados, pequenos vertebrados e carniça, com uma proporção significativa de vegetais (REDFORD, 1985). Além disso, naturalmente o tatupeba consegue acumular grandes quantidades de gordura subcutânea, possivelmente como uma adaptação para a escassez sazonal de alimentos (MCNAB, 1980).

Segundo Tomas *et al.* (2013), o comportamento dos *Euphractus sexcinctus* tende à uma vida solitária, embora seja possível observá-los interagindo com outros indivíduos da mesma espécie, incluindo machos e fêmeas, chegando a compartilhar tocas com

vários indivíduos. De acordo com Romero *et al.* (2019) e Tomas *et al.* (2013), o período de acasalamento do tatupeba se estende de julho a novembro. Contudo, alguns estudos presenciaram atividade reprodutiva em março, o que sugere que a época de reprodução do tatupeba não está exclusivamente vinculada à estação seca, como anteriormente afirmado por Tomas *et al.* (2013).

4.2.3 Coleta de dados

O Monitoramento dos Animais Atropelados na extensão da Ferrovia Norte-Sul, no trecho entre Açailândia/MA e Porto Nacional/TO iniciou-se em maio de 2013 até dezembro de 2021. Por ano, foram realizadas quatro campanhas (trimestrais). Os dados foram coletados de forma sistemática seguindo as determinações da Instrução Normativa (IN) nº 13 do IBAMA (IBAMA, 2103). Os dados dessas campanhas, que contém os registros de *Euphractus sexcinctus*, foram extraídos do banco de dados da empresa VLI e cedidos para o desenvolvimento do presente estudo.

Para o registro da espécie, porventura atingida por colisões com os trens na ferrovia, foram percorridos os trechos, com auxílio de um veículo adaptado, denominado “auto-de-linha”, de propriedade da VLI, a uma velocidade máxima de 40 km/h. O percurso foi realizado sobre o gabarito da linha e sempre com o acompanhamento de um operador (funcionário da FNS responsável por dirigir o auto-de-linha) designado pela VLI/FNS e responsável por acompanhar equipe de biólogos das empresas de consultoria contratadas para o serviço. Por questões de segurança, em nenhuma situação ou exceção, foi realizado o trajeto sem a presença do operador.

Sempre que observado um animal (morto ou vivo) entre os trilhos ou na área da faixa de domínio da ferrovia, todos os registros foram realizados em um aplicativo padronizado de campo, desenvolvido pela Dra. Camila Teixeira, que contém todas as informações constantes na ficha de campo indicada pelo IBAMA, além das coordenadas geográficas do ponto de coleta. Durante a realização do monitoramento o tráfego das composições que operam na FNS não é interrompido, assim os resultados observados neste estudo não sofrem alteração pela ausência de tráfego.

Sempre que um animal foi localizado, seja vivo ou atropelado, os seguintes passos foram adotados:

- o aplicativo de campo foi devidamente preenchido;
- foi realizado o registro fotográfico do animal em sua posição original, no próprio aplicativo, sempre observando as questões de segurança da via. Para isso, sempre que possível, registra-se fotos do animal: de corpo inteiro, em sua posição original; da cabeça do animal; das patas dianteiras e traseiras, principalmente quando se trata de mamíferos silvestres de médio e grande porte; outras fotos julgadas como necessárias pela equipe em campo para melhor identificação da espécie;
- foram realizadas fotos do local (trilho e área adjacente): uma foto da paisagem adjacente do lado esquerdo e uma do lado direito da via, além de uma foto com vista parcial do local do trilho observando-se sempre o sentido do km zero ao final, para orientação.
- as carcaças foram retiradas dos trilhos e descartadas em áreas adjacentes.

4.2.4 Pré-processamento dos Dados

A consolidação dos dados foi processada, inicialmente, em planilhas eletrônicas. O banco de dados original foi avaliado para efeito de adequação e organização dos registros nos seguintes aspectos: (1) Nomes científicos digitados com variações; (2) Padronização dos nomes comuns; (3) Vinculação de taxonomia a classe correta; (4) status de conservação; (5) coordenadas geográficas; (7) Eliminação de espaço.

Tais procedimentos de organização de dados citados foram realizados em ambiente R (R CORE TEAM, 2020) com o auxílio dos pacotes janitor (FIRKE, 2019), dplyr (WICKHAM *et al.*, 2018) e stringr (WICKHAM, 2018).

4.2.5 Análises Estatísticas

Análises referentes à estatística descritiva foram amplamente utilizadas para se estabelecer contagens, porcentagens e medidas de tendência central, como média. As análises foram realizadas em ambiente R (RCoreTeam, 2020).

Os dados foram agrupados em duas estações, secas e chuvosas, para análises relacionadas à diferença do número de atropelamentos em diferentes estações do ano, pensando-se na sazonalidade dos acontecimentos. Para a estação seca

consideramos o período entre junho a setembro e para a chuvosa o meses entre outubro a dezembro.

Cada animal encontrado foi considerado como um registro único, já que as carcaças são retiradas da ferrovia no momento da coleta de dados. Ainda sim, vale destacar que foi feita a conferência dos registros dentro de um *buffer* de 30 m e com um período de persistência inferior a 11 meses para verificar se existiu dupla contagem de carcaças, o que não ocorreu.

Foi determinado o número de pares de trens por ano e, então, realizado uma regressão linear simples para determinar se há uma relação entre o número de pares de trem e o aumento de atropelamento de *Euphractus sexcinctus*.

4.2.6 Análises Espaciais

Os registros de atropelamentos foram plotados em mapas e determinado um *buffer* de 0,95 Km de raio, que corresponde ao tamanho da área de vida do tatupeba (CIRINO *et al.*, 2022), além da determinação da Cobertura Vegetal e Uso da Terra (CVUT), fornecido pela VLI, usando a seguinte classificação: (1) Área Antropizada, (2) Água, (4) Floresta, (5) Formação não Florestal, (7) Cerrado, (8) Cerradão, (9) Eucalipto, (10) Vereda e (11) Vegetação Aberta.

As classes: Área Antropizada foi considerada como a categoria “Antropizada” e as demais, Água, Floresta, Formação não Florestal, Cerrado, Cerradão, Eucalipto, Vereda e Vegetação Aberta, como Categoria “Cobertura Natural”. Essas categorias foram agrupadas e calculadas a porcentagem de antropização de habitat, a partir dessa informação foram determinados cinco graus de antropização de habitat seguindo a mesma metodologia de Teixeira *et al.* (2006), sendo: C1 – de 81 à 100% de área “Antropizada”, C2 – 61 à 80% de de área “Antropizada”, C3 – 41 à 60% de área “Antropizada”, C4 - 21 a 40% de área “Antropizada”, C5 – 0 à 20% de área “Antropizada”.

Com a classificação de cada uma das áreas foi realizado um teste de *Man-Whitney* para determinar se há relação entre o número de atropelamentos de *Euphractus sexcinctus* e o grau de antropização do habitat por município.

A identificação dos pontos com maior número de registros de *Euphractus sexcinctus* foi feita por meio de análises estatísticas utilizando o *software* Siriema v2.0. Para isso, foi considerada a estatística bidimensional *K-Ripley* para determinar a existência de locais com maior probabilidade de ocorrência de atropelamentos, visando identificar os agrupamentos significativos de mortalidade em diversas escalas espaciais. Para tal, foi calculado o raio inicial de 300 m, com incremento de 400 m em 100 simulações com intervalos de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), e o mesmo foi feito para cada subtrecho da ferrovia.

4.2.7 Zonas críticas de fatalidades

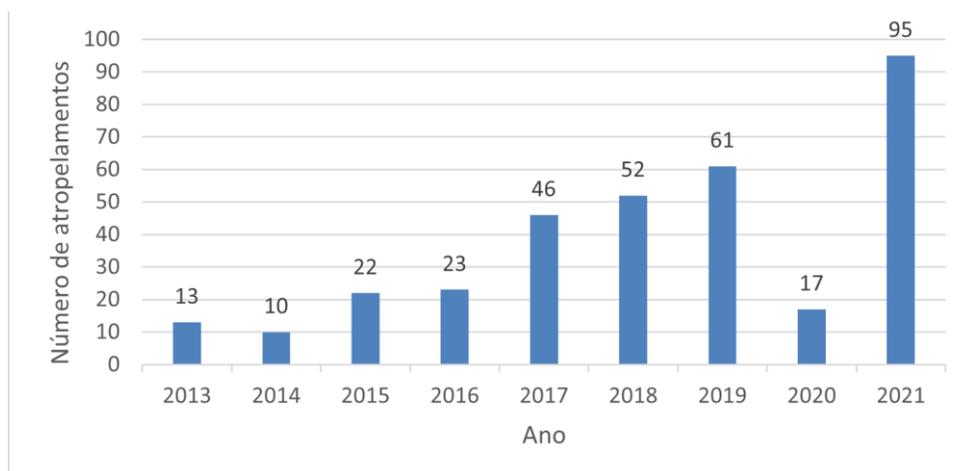
O valor de intensidade de agregação obtido para cada um dos trechos determinados como ZCF foi categorizado de acordo com a classificação de Fisher-Jenks pelo pacote *classInt* em ambiente R. O algoritmo de Fisher-Jenks é comumente usado para particionar dados espaciais, mas também pode ser aplicado a dados não espaciais. Ele é amplamente utilizado para segmentar dados em classes estatisticamente derivadas, com o objetivo de maximizar a variação entre as classes e minimizar a variação dentro das classes.

Neste estudo, as ZCF foram divididas em três classes de criticidade: Alta, Média e Baixa. Em seguida, foi criado um mapa das ZCF diagnosticadas e categorizadas utilizando o *software* Qgis 3.22.6. Esse mapa permite visualizar as ZCF e sua classificação de acordo com a intensidade de agregação determinada pelo algoritmo Fisher-Jenks.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de maio de 2013 a dezembro de 2021, foram registrados 339 (trezentos e trinta e nove) atropelamentos de *Euphractus sexcinctus*, sendo que o ano de 2021 apresentou o maior quantitativo de mortalidade, com 95 (noventa e cinco) registros totais (Figura 7). A mortalidade da espécie está estreitamente relacionada à sua limitada mobilidade e flexibilidade, além do risco de ficarem presos aos trilhos durante os deslocamentos em buscas de alimentação (ENGEMAN; SMITH; KAUFMAN, 2007; IOSIF, 2012; KORNILEV; PRICE; DORCAS, 2006; POPP; BOYLE, 2017). Além disso, os estudos constataram uma limitação quanto à visão e audição da espécie. Essas limitações contribuem com a alta mortalidade e, além disso, por serem animais onívoros, podem ser atraídos pelos restos de outros animais atropelados (DESBIEZ *et al.*, 2022; MELO; SANTOS-FILHO, 2007). No entanto, apesar dos números consideráveis de mortalidade, o tatupeba possui o *status* de “menor preocupação” segundo a IUCN (2022), influenciados por alta capacidade e tolerância a modificações de habitat e ampla distribuição geográfica (ABBA *et al.*, 2012). Os dados de 2020 foram reduzidos, pois houve uma redução nas campanhas realizadas neste ano devido à pandemia do SARS-COVID.

Figura 7 - Número de *Euphractus sexcinctus* atropelados por ano

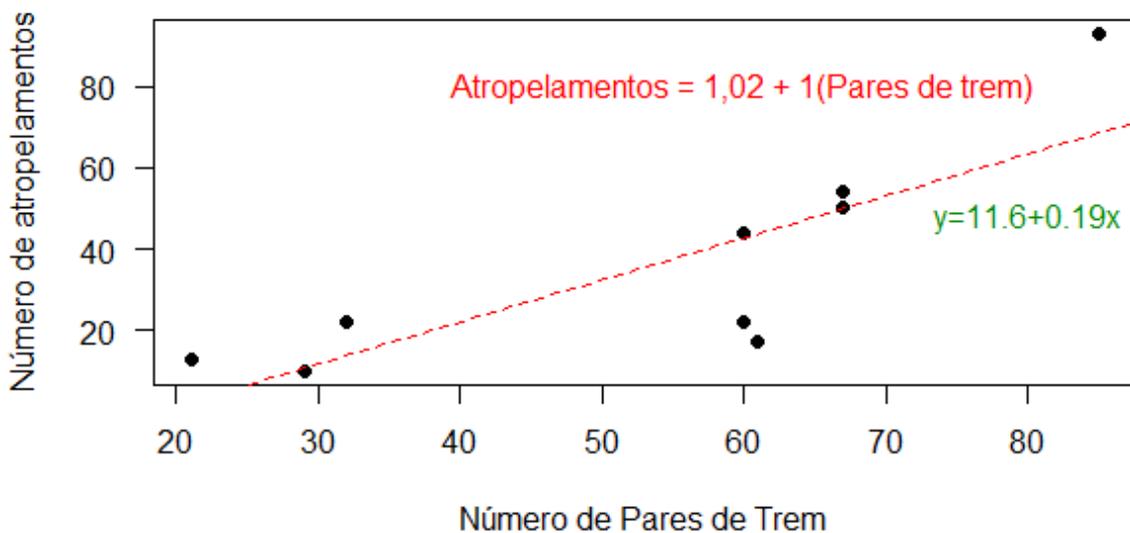


Observou-se um resultado importante que indica que o aumento no número de pares de trem resulta em um aumento no número de atropelamentos de tatupeba. Foi encontrada uma correlação positiva significativa entre o número de atropelamentos e o número de pares de trem que trafegam na ferrovia por ano ($R^2= 0,617$, $GL=7$, $p= 0,00739$), sendo que esse fato explica 61% dos atropelamentos (Figura 8) e cada par

de trem adicional resulta em 1,02 atropelamentos a mais. Essa análise é corroborada pela literatura, Carceres (2011), afirma que os empreendimentos lineares mais movimentados resultam em um maior número de atropelamentos. Sendo esse um fator esperado, mas que pode ser comprovados com as análises realizadas, e dão um alerta sobre as medidas de mitigação que podem ser adotadas para a redução de animais dessa espécie atropelados em ferrovias.

O valor médio de atropelamentos de tatupeba por par de trem na FNS é de 0,9. Sugerindo, desta forma, que ao reduzir o número de trens em circulação na área ou na ferrovia pode mitigar esse problema, mas essa é uma alternativa de difícil implementação na prática.

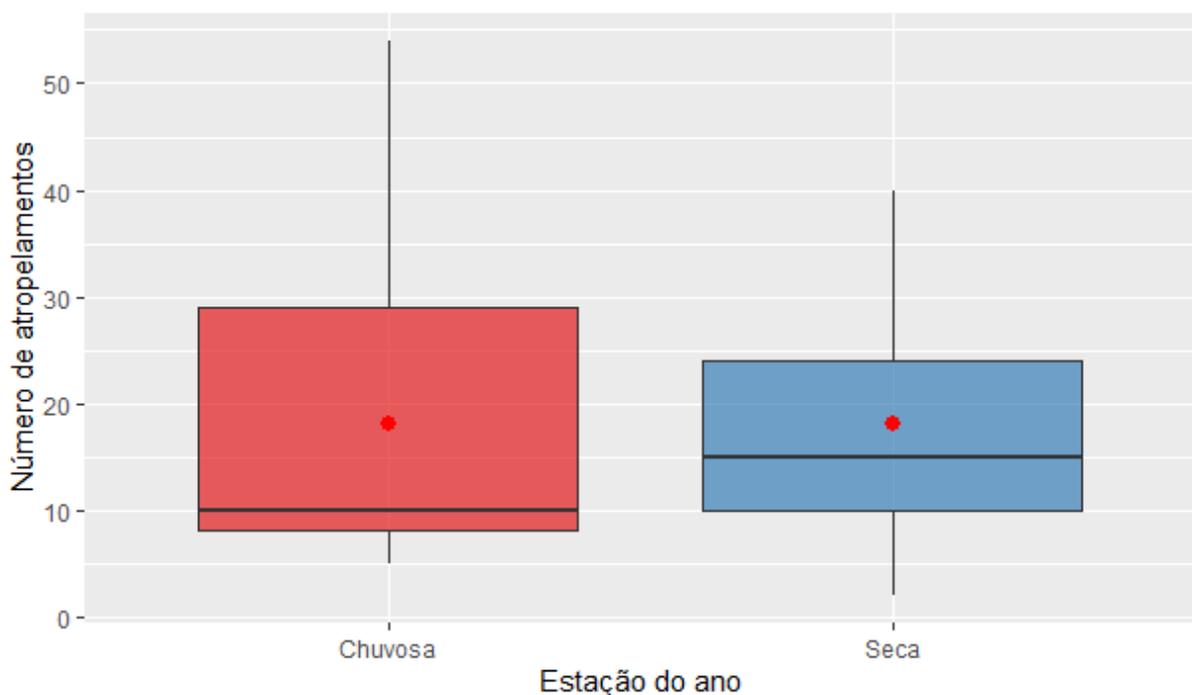
Figura 8– Número de atropelamentos de tatupeba por pares de trem na Ferrovia Norte-Sul



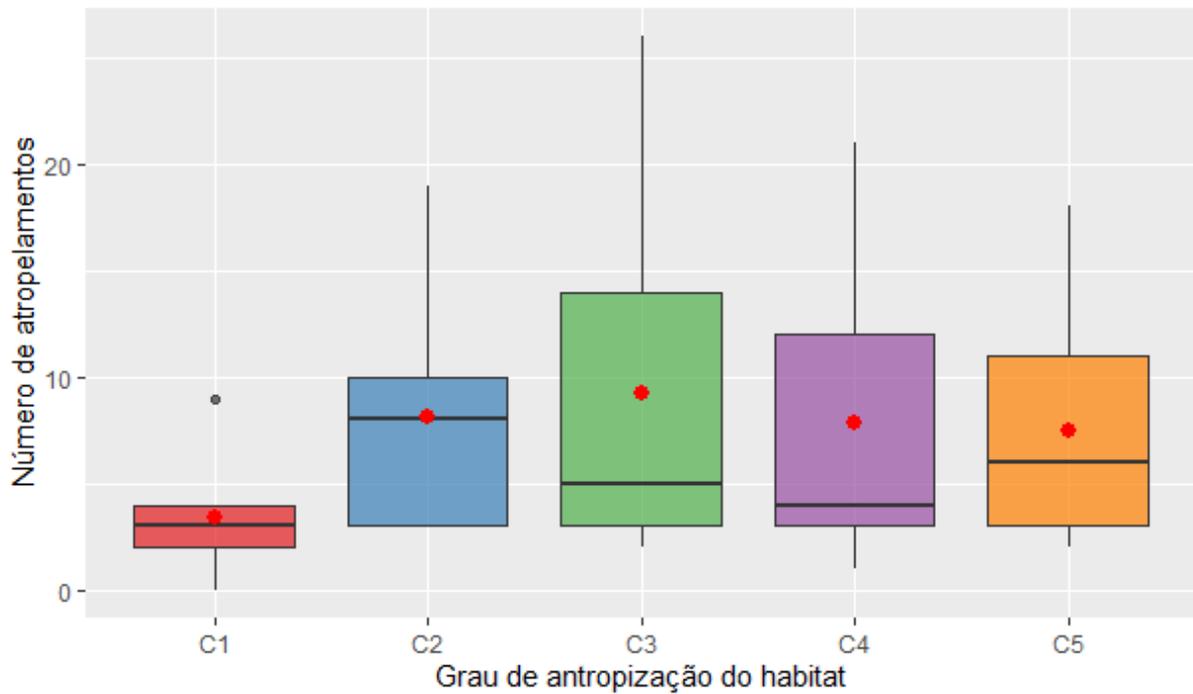
Não houve diferença significativa entre os atropelamentos na estação seca e chuvosa ($t = 0.01554$, $GL = 16$, $p = 0.9878$), ou seja, não há diferença no número de atropelamentos em relação à estação do ano (Figura 9). De acordo com as análises, a sazonalidade não parece ser um fator determinante para os atropelamentos de tatupeba na FNS. Um dos fatores que podem explicar esse fato é que a espécie é onívora e por ter uma dieta muito variada, eles precisam se deslocar em busca de diversos tipos de alimentos, como material vegetal, frutos, tubérculos, invertebrados, pequenos vertebrados e carniça, independentemente da estação do ano (ANACLETO, 2007). Além disso, os tatupebas adotam uma estratégia que preza pela economia de tempo e energia na busca por alimentos, objetivando assim encontros

com seus predadores carnívoros durante os deslocamentos, sendo que a estratégia alimentar da espécie consiste em forragear uma área menor por um período também menor, em comparação a outros animais similares (ZAMBRINI, 2015). Dessa forma, para garantir sua alimentação, os tatupebas deslocam-se em diversas áreas e quando deparam-se com as linhas ferroviárias correm grande risco de ficarem presos aos trilhos no momento da travessia, quando não, o atropelamento acontece devido a sua lenta locomoção.

Figura 9 - Número de atropelamentos de tatupeba pela sazonalidade (estação seca e chuvosa)



Quando analisamos o grau de antropização de habitat e o número de atropelamentos, não houve diferença significativa entre os diferentes graus de antropização de habitat ($X^2 = 1.3753$, GL = 4, $p = 0.2597$) (Figura 10). Os tatupebas possuem uma condição particular que é a sua grande adaptabilidade, fazendo com que ele viva facilmente em ambientes degradados e antropizados (ANACLETO, 2007). Essa capacidade de adaptação pode ser explicada por fatores, como a flexibilidade alimentar, que permite que os tatupebas se alimentem de diferentes tipos de plantas e insetos, e a habilidade de construir tocas e se esconder em locais seguros para evitar predadores e outras ameaças.

Figura 10 – Número de atropelamentos de tatupeba por grau de antropização do habitat

A estatística de K de *Ripley* foi utilizada para analisar a distribuição dos pontos de atropelamento em diferentes raios de análise. Os resultados indicaram que a não uniformidade das ocorrências ocorre em praticamente todos os raios, ou seja, a ocorrência não se apresenta como aleatória. Isso é relevante no planejamento de medidas mitigadoras efetivas na ecologia de ferrovias (Figura 11 e Figura 12).

Figura 11 – Análise K de Ripley com os registros de atropelamentos de tatupeba ao longo da Ferrovia Norte-Sul na zona 23 Sul

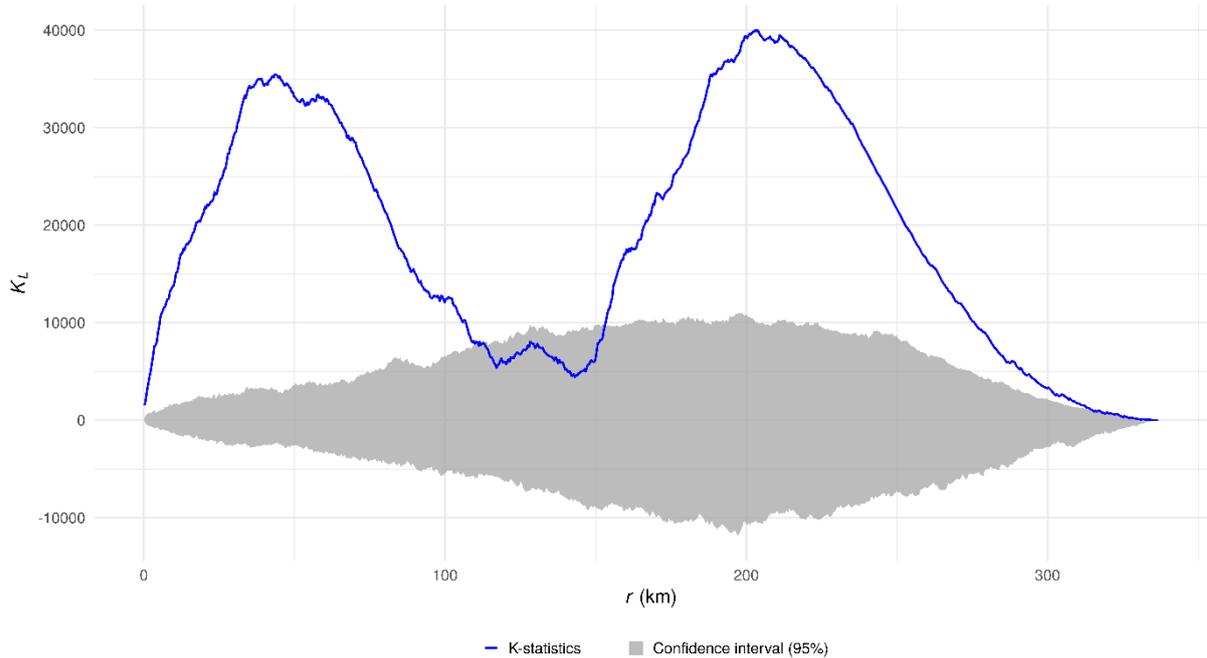
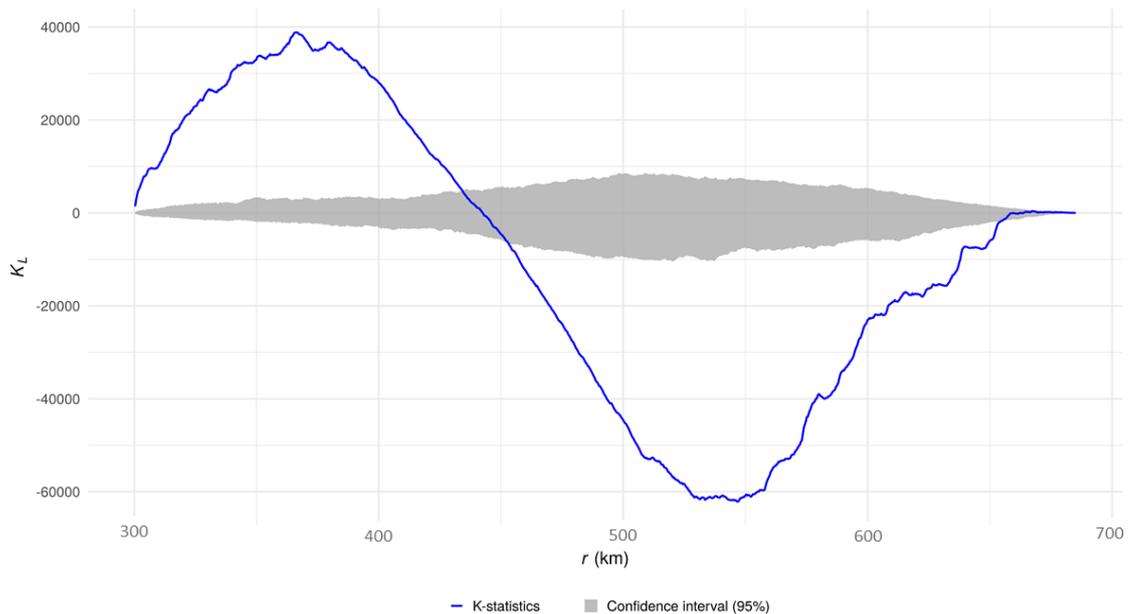


Figura 12 – Análise K de Ripley com os registros de atropelamentos de tatupeba ao longo da Ferrovia Norte-Sul na zona 22 Sul



Foram determinados os agrupamentos de ocorrência de atropelamentos para todos os 720 km de extensão da FNS. A partir da determinação desses agrupamentos, foram identificados os principais segmentos da ferrovia com maior probabilidade de

mortalidade (Zonas Críticas de Fatalidade - ZCF). Na zona 23 sul, observamos uma ZCF no quilômetro 170, com dois registros de fatalidade (Tabela 3). O mesmo ocorreu para a zona 22 sul, porém no quilômetro 354 (Tabela 4). Esse resultado pode ser explicado devido à proximidade dos pontos de atropelamento, indicando ser uma área de alto risco de fatalidade (Figura 13, Figura 14 e Figura 15).

Tabela 3 - Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 Sul

KM	Intensidade de agregação*	Número de Fatalidades	ZCF
117	0,29602564	2	Baixo
128	0,70933588	3	Baixo
143	0,73911651	2	Baixo
241	0,70094563	3	Baixo
140	0,928346	2	Médio
140	1,13711894	2	Médio
180	1,09027426	2	Médio
197	1,07527996	2	Médio
204	1,27149561	2	Médio
298	1,18075543	2	Médio
300	1,04692809	3	Médio
329	1,32947676	2	Médio
170	2,69644269	2	Alto

Legenda: * Intensidade de agregação aqui representada pelo valor da estatística do KDE+(densidade de K de Ripley).

Tabela 4 - Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 22 Sul

KM	Intensidade de agregação*	Número de Fatalidades	ZCF
340	1,36817849	2	Baixo
355	0,18179189	2	Baixo
393	1,28989969	2	Baixo
396	1,09609044	2	Baixo
418	1,40474306	2	Baixo
433	1,51196005	2	Baixo
439	1,24145501	2	Baixo
628	1,01962679	2	Baixo
649	1,36607111	2	Baixo
688	0,97287968	2	Baixo

KM	Intensidade de agregação*	Número de Fatalidades	ZCF
692	0,066473	2	Baixo
706	1,00629674	3	Baixo
384	2,723997	3	Médio
629	2,46840983	3	Médio
652	1,68842823	2	Médio
667	1,71783885	2	Médio
678	2,00960185	2	Médio
354	6,2594658	2	Alto

Legenda: * Intensidade de agregação aqui representada pelo valor da estatística do KDE+(densidade de K de Ripley).

Figura 13 - Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 sul

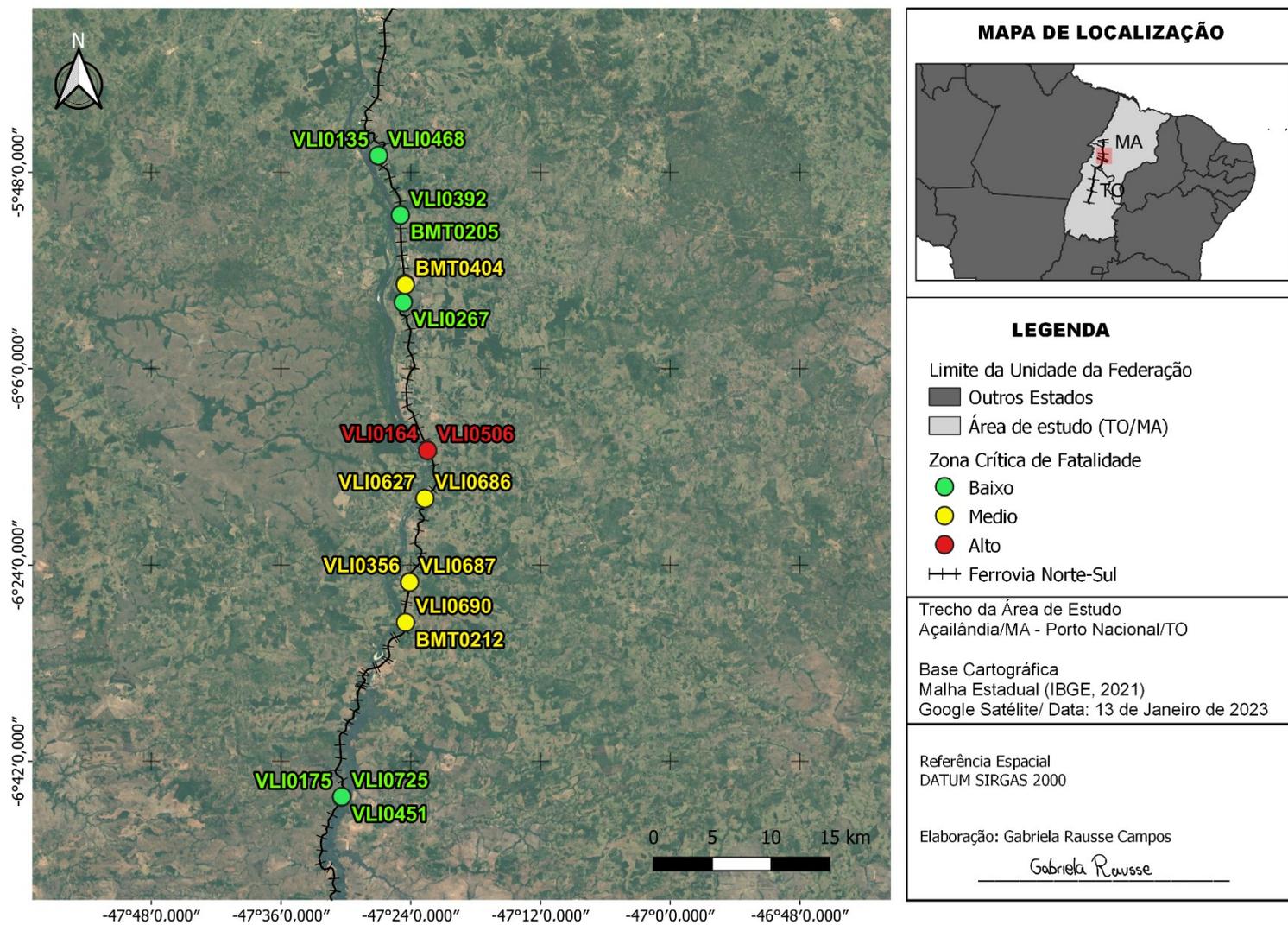


Figura 14– Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 e 22 sul

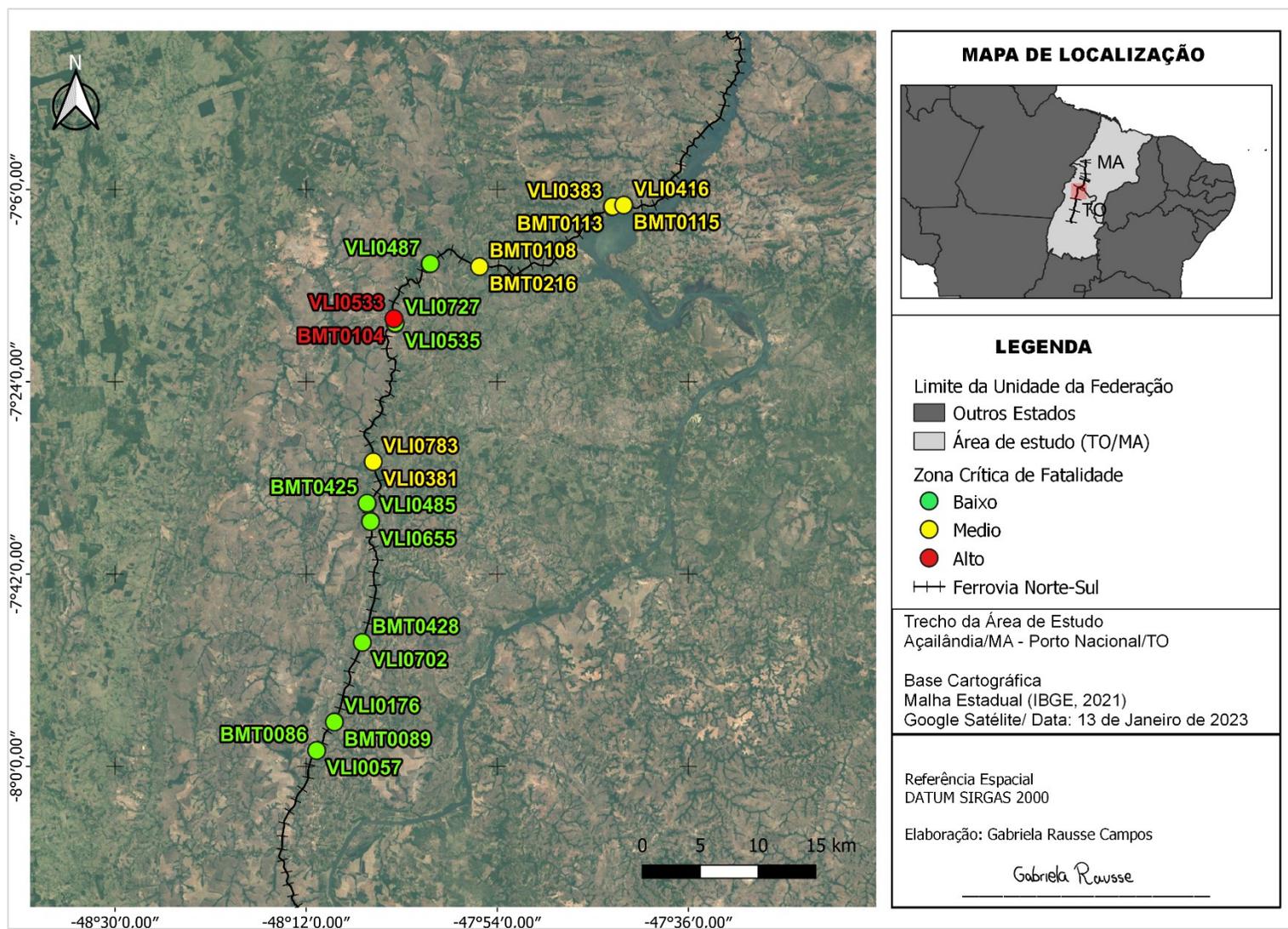
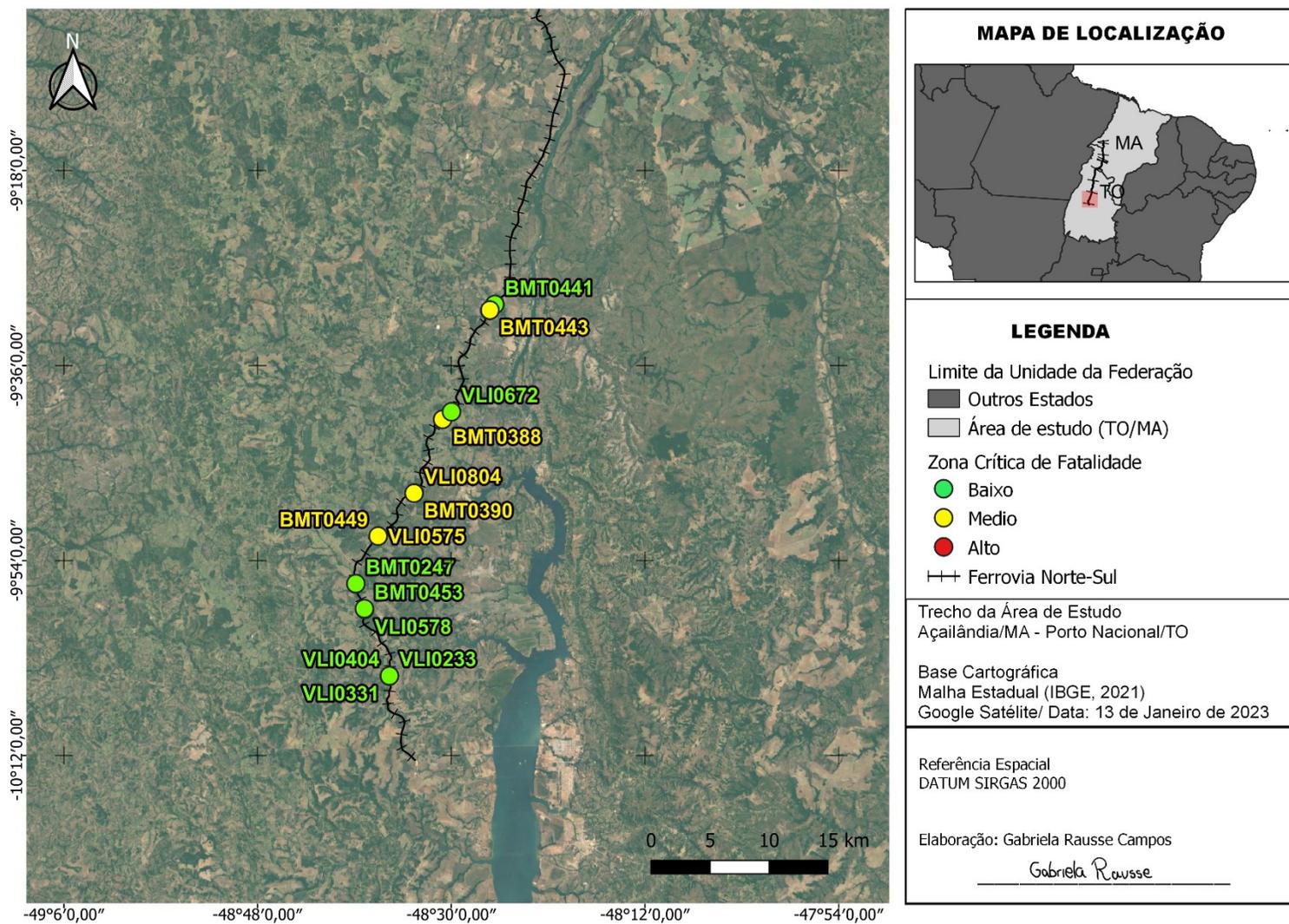


Figura 15 – Zonas Críticas de Fatalidade para os registros de tatupeba encontrados na Ferrovia Norte-Sul na Zona 22 sul



Quando analisamos o uso do solo nessa região de maior concentração de atropelamentos, observamos que a paisagem é composta pelas classes Cerrado e Área Antropizada (Figura 16 e Figura 17). A fragmentação do habitat causada pelas ações antrópicas faz com que os animais silvestres, como o tatupeba, sejam forçados a se deslocar para áreas urbanizadas, aumentando de sobremaneira as chances de colisões com os trens. Além do mais, os tatupebas são frequentemente avistados em áreas mais abertas, principalmente nas pastagens do Cerrado, mas ocorrendo também em áreas degradadas e antropizadas, como no entorno de sedes de fazendas com pastos (DESBIEZ *et al.*, 2022), o que pode explicar essa alta taxa de atropelamentos nessas regiões.

Figura 16– Uso do solo nas Zonas Críticas de Fatalidade de atropelamento do tatupeba na Ferrovia Norte-Sul na Zona 22 sul

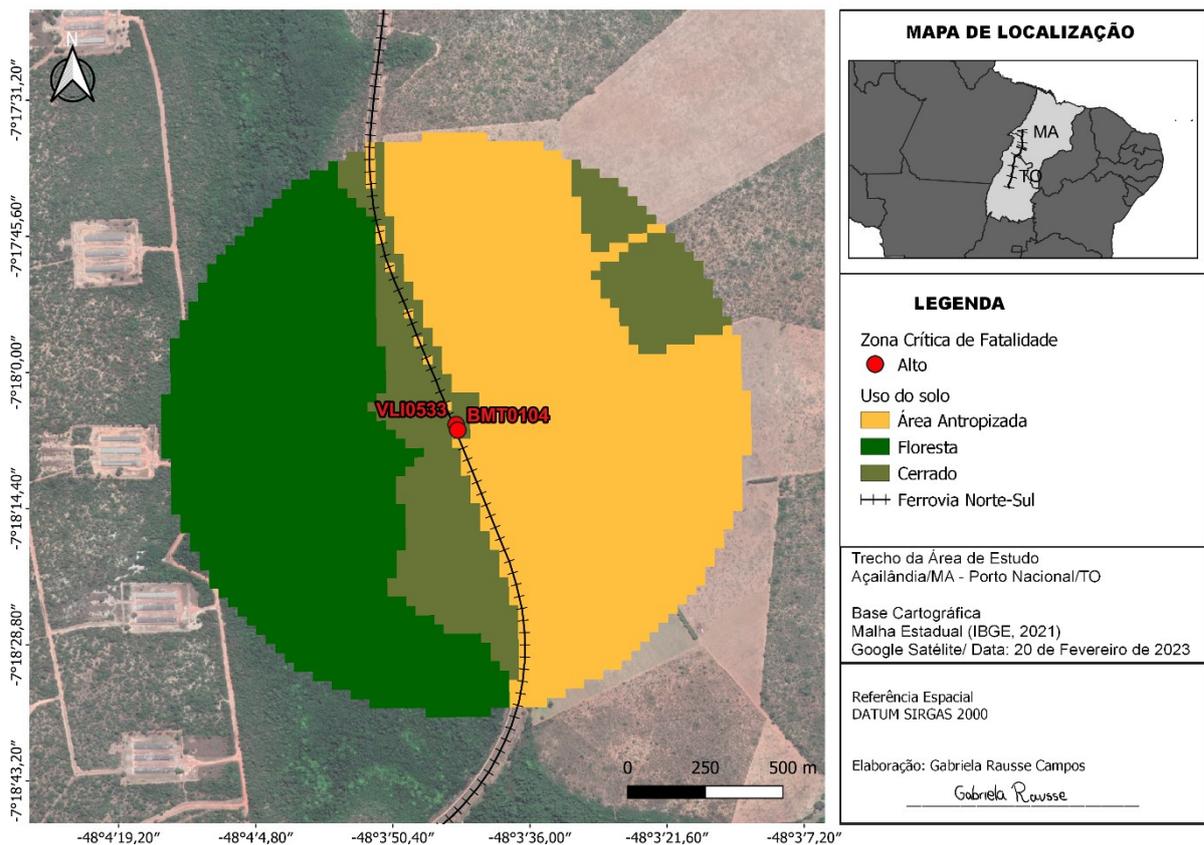
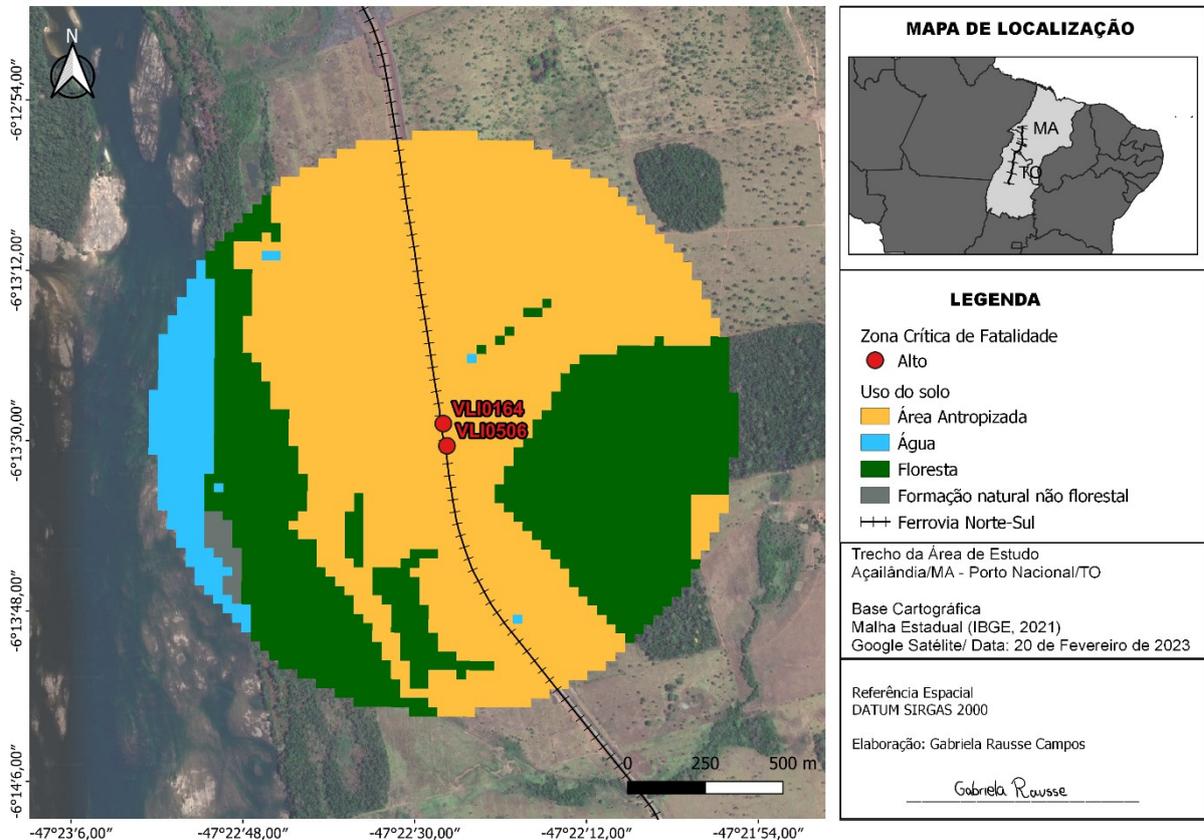


Figura 17 – Uso do solo nas Zonas Críticas de Fatalidade de atropelamento do tatupeba na Ferrovia Norte-Sul na Zona 23 sul



A identificação das ZCF em ferrovias é fundamental para propor medidas de mitigação efetivas que visem reduzir o número de atropelamentos e mortes de animais. A partir dessa identificação, é possível direcionar estrategicamente os esforços e recursos para as áreas focais mais impactadas, aumentando sobremaneira a eficiência e eficácia das medidas adotadas. Em Wells *et al.* (1999) e Jackson (1999), tem-se a sugestão de estratégias importantes, que adotadas podem influenciar na redução do número de mortes de animais nas ferrovias, as ações incluem: a) concentrar as medidas de mitigação nos trechos mais afetados; b) remover carcaças da área da linha férrea; c) reduzir a perda de grãos durante o transporte; d) estabelecer programas de treinamento para a tripulação com o objetivo de identificar animais selvagens; e) manejar a vegetação nas margens da ferrovia; f) compartilhar dados sobre atropelamentos de animais selvagens entre as agências de transporte e por fim; g) adequar as passagens para a fauna, levando em consideração as características da fauna e do ambiente local.

4.4 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste estudo foi investigar os principais fatores determinantes para as mortes de tatupebas causadas por atropelamento no trecho da Ferrovia Norte-Sul, bem como identificar os pontos críticos para essa espécie. Embora os resultados obtidos tenham sido diferentes do que se esperava, o trabalho indicou algumas possíveis explicações para essas divergências. A sazonalidade não apresentou influência no número de mortes nesse estudo, bem como o grau de antropização não apresentou uma correlação clara com as fatalidades. No entanto, o número de pares de trem mostrou uma correlação positiva, indicando que quanto maior o número de trens, maior a quantidade de atropelamentos de tatupeba. Além disso, foram identificados dois locais potenciais para a instalação de medidas de mitigação, já que apresentam altas taxas de mortalidade quando comparadas com outros trechos amostrados. Isso ressalta a necessidade de mais pesquisas em ecologia de ferrovias no Brasil, bem como a implementação de medidas mitigatórias, como passagens elevadas para a fauna, passagens subterrâneas e corredores ecológicos, que devem ser incorporados durante a construção de grandes projetos de infraestrutura. Mesmo após a conclusão das obras, é possível adotar medidas mitigatórias para promover a preservação do ambiente e da vida da espécie. Estudos como este são essenciais para entender melhor os impactos dessa infraestrutura na biodiversidade e para desenvolver medidas de mitigação e gestão dos riscos associados à presença de animais nas áreas próximas às linhas férreas.

REFERÊNCIAS

- ABBA, Agustín M.; LIMA, E.; SUPERINA, Mariella. **Euphractus sexcinctus (Yellow Armadillo)**. 2014. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/8306/47441708/>.
- ABBA, Agustín M.; TOGNETTI, Marcelo F.; SEITZ, Viviana P.; BENDER, J. Benjamín; VIZCAÍNO, Sergio F. Distribution of extant xenarthrans (Mammalia: Xenarthra) in Argentina using species distribution models. **Mammalia**, [S. l.], v. 76, n. 2, p. 123–136, 2012. DOI: 10.1515/mammalia-2011-0089.
- ABRA, Fernanda D. **Monitoramento e Avaliação das Passagens Inferiores de Fauna Presentes na Rodovia SP-225 no Município de Brotas, São Paulo**. 2012.
- ANACLETO, Teresa Cristina Da Silveira. Food habits of four armadillo species in the Cerrado area, Mato Grosso, Brazil. **Zoological Studies**, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 529–537, 2007.
- ARROYAVE, MARÍA DEL PILAR; GOMEZ, CAROLINA; GUTIERREZ, MARIA ELENA; MUNERA, DIANA PAULINA; ZAPATA, PAULA ANDREA; VERGARA, ISABEL CRISTINA; ANDRADE, LILIANA MARIA; RAMOS, KAREN CRISTINA. Impactos de las carreteras sobre Fauna Silvestre Y Sus Principales Medidas De Manejo. **Revista EIA**, [S. l.], p. 45–57, 2006.
- ASCENSÃO, Fernando; DESBIEZ, Arnaud L. J.; MEDICI, Emília P.; BAGER, Alex. Spatial patterns of road mortality of medium-large mammals in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Wildlife Research**, [S. l.], v. 44, n. 2, p. 135–146, 2017. DOI: 10.1071/WR16108.
- CAIN, A. T.; TUOVILA, V. R.; HEWITT, D. G.; TEWES, M. E. Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in Southern Texas. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 114, n. 2, p. 189–197, 2003. DOI: 10.1016/S0006-3207(03)00023-5.
- CBEE. **Atropelometro**. 2021. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>. Acessado em: 20 de julho de 2022.
- CARVALHO, Carine Firmino. **Atropelamento de vertebrados, hotspot de atropelamentos e parâmetros associados, BR-050, trecho Uberlândia-Uberaba**. 2014. [S. l.], 2014.
- CASTRO, Aline Carvalho De; SCHLAG, Fabricio; SCHLAG, Fabricio. Análise das contribuições econômicas da Ferrovia Norte-Sul nos municípios goianos. **Revista de Economia do Centro-Oeste**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 31–48, 2018.
- CHAHUD, Artur. Ocorrência de *Euphractus sexcinctus* Linnaeus, 1758 na Gruta Cuvieri, região de Lagoa Santa, MG, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 72–82, 2021. DOI: 10.21726/abc.v8i3.1528.
- CIRINO, Douglas William; LUPINETTI-CUNHA, Artur; FREITAS, Carlos Henrique; DE FREITAS, Simone Rodrigues. Do the roadkills of different mammal species respond the same way to habitat and matrix? **Nature Conservation**, [S. l.], v. 47, p. 65–85, 2022. DOI: 10.3897/natureconservation.47.73010.
- CLEVENGER, Anthony P.; CHRUSZCZ, Bryan; GUNSON, Kari E. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 109, p. 15–26, 2003. DOI: 10.1016/S0006-3207(02)00127-1. Disponível em: <http://astrum-aka-trup.livejournal.com/487411.html#comments>.

COFFIN, Alisa W. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, [S. l.], v. 15, n. 5, p. 396–406, 2007. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006.

DASOLER, Bibiana Terra et al. The need to consider searcher efficiency and carcass persistence in railway wildlife fatality studies. **European Journal of Wildlife Research**, [S. l.], v. 66, n. 5, p. 1–6, 2020. DOI: 10.1007/s10344-020-01417-7.

DESBIEZ, Arnaud Leonard Jean; KLUYBER, Danilo; MASSOCATO, Gabriel F.; BARRETO, Lucas Mendes; ATTIAS, Nina. O que sabemos sobre os tatus do Pantanal? Revisão do conhecimento sobre ecologia, biologia, morfologia, saúde, conservação, distribuição e métodos de estudo. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 11–69, 2022. DOI: 10.46357/bcnaturais.v17i1.834.

DEVELEY, Pedro F.; STOUFFER, Philip C. Effects of roads on movements by understory birds in mixed-species flocks in Central Amazonian Brazil. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 15, n. 5, p. 1416–1422, 2001. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2001.00170.x.

ENCARNAÇÃO, C. D. da. **Contribuição à ecologia dos tatus (Xenarthra, Dasypodidae) da Serra da Canastra, Minas Gerais**. 1987. 210 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.

ENGEMAN, Richard M.; SMITH, Henry T.; KAUFMAN, Gregory S. GOPHERUS POLYPHEMUS (Gopher T (Gopher Tortoise) MOR oise) MORTALITY. **Helpetological Review**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 331–332, 2007.

FIRKE S (2019). **janitor: Simple Tools for Examining and Cleaning Dirty Data**. R package version 1.2.0, URL. Disponível em: < <https://CRAN.Rproject.org/package=janitor> >. Acesso em: 02 jan. 2023.

FORMAN, Richard T. T. et al. Road ecology: Science and solutions. Island Press. **Science and Solutions**, [S. l.], 2003.

FORMAN, Richard T. T.; ALEXANDER, Lauren E. Roads and Their Major Ecological Factors. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, [S. l.], v. 29, p. 207–231, 1998.

HANSEN, Malin J.; CLEVINGER, Anthony P. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 125, n. 2, p. 249–259, 2005. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.03.024.

IBAMA. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13 , DE 19 DE JULHO DE 2013. In: INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, DE 19 DE JULHO DE 2013 2013, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 1–7.

JACKSON, S. D. **Overview of transportation related wildlife problems**. In: EVINK, G. L.; GARRETT, P.; ZEIGLER, D. (eds.). In: International Conference on Wildlife Ecology and Transportation, 3., 1999, Florida. Proceedings... FL-ER-73-99. Florida: Department of Transportation, 1999.

KAJZER-BONK, Joanna; SKÓRKA, Piotr; BONK, Maciej; LENDA, Magdalena; ROŻEJ-PABIJAN, Elżbieta; WANTUCH, Marta; MOROŃ, Dawid. The effect of railways on bird diversity in farmland. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 26, n. 30, p. 31086–31098, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-06245-0.

- KORNILEV, Yurii V.; PRICE, Steven J.; DORCAS, Michael E. Between a rock and a hard place: Responses of eastern box turtles (*Terrapene carolina*) when trapped between railroad tracks. **Herpetological Review**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 145–148, 2006.
- LAURANCE, William F.; GOOSEM, Miriam; LAURANCE, Susan G. W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. **Trends in Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 24, n. 12, p. 659–669, 2009. DOI: 10.1016/j.tree.2009.06.009.
- MYERS, N. *et al.* 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403: 853-858.
- MCNAB, Brian K. Energetics and the Limits to a Temperate Distribution in Armadillos. **American Society of Mammalogists**, [S. l.], v. 61, n. 4, p. 606–627, 1980.
- MEDRI, Ísis Meri; MOURÃO, Guilherme; MARINHO-FILHO, Jader. Morfometria de Tatu-Peba, *Euphractus sexcinctus* (Linnaeus, 1758), no Pantanal da Nhecolândia, MS. **BioOne Complete**, [S. l.], v. 8, n. 10, p. 35–40, 2009.
- MELO, E. S.; SANTOS-FILHO, M. Efeitos da BR-070 na Província Serrana de Cáceres, Mato Grosso, sobre a comunidade de vertebrados silvestres. **Revista Brasileira de Zoociências**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 185–192, 2007.
- MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 58–62, 1995. DOI: 10.1016/S0169-5347(00)88977-6.
- OLIVEIRA, Adriana Nepomuceno De. **Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no Cerrado brasileiro**. 2011. [S. l.], 2011.
- PAGLIA, Adriano P. *et al.* **Lista anotada dos mamíferos do Brasil**. [s.l: s.n.]. v. 6
- PAINKOW NETO, Ennio; SILVA, Rodrigo Mariano. Monitoramento de passagens inferiores de fauna presentes na Ferrovia Norte-Sul, entre os municípios de Porto Nacional/TO e Anápolis/GO (2015 e 2016). **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. 36–66, 2017.
- PIRES, Murilo José de Souza; CAMPOS, Flávia Rezende. **Contribuições das ferrovias norte-sul e centro-atlântica na expansão do vetor externo da economia do centro-oeste**. [s.l: s.n.].
- POPP, J. N.; BOYLE, S. P. Railway ecology: Underrepresented in science? **Basic and Applied Ecology**, [S. l.], v. 19, p. 84–93, 2017. DOI: 10.1016/j.baae.2016.11.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2016.11.006>.
- PRACUCCI, André; ALVES DA ROSA, Clarissa; BAGER, Alex. Variação sazonal da fauna selvagem atropelada na rodovia MG 354, Sul de Minas Gerais – Brasil. **Biotemas**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 73–79, 2012. DOI: 10.5007/2175-7925.2012v25n1p73.
- R Core Team (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em: 02 jan. 2023
- RODRIGUEZ, Helio Suêvo. A importância da estrada de ferro para o estado de Goiás.

Revista UFG, [S. l.], p. 69–74, 2011.

ROMERO, Verónica; KOWALEWSKI, Martín; GÓMEZ, Noelia; ABBA, Agustín. Social behavior of *Euphractus sexcinctus* during a reproductive event in a protected forest of northeastern Argentina. **Notas sobre Mamíferos Sudamericanos**, [S. l.], v. 01, n. 1, p. 001–008, 2019. DOI: 10.31687/saremnms.19.0.09.

SILVA, Fabio Cavitione; PETERS, Felipe Bortolotto; ROTH, Paulo Ricardo De Oliveira; CHRISTOFF, Alexandre Uarth. Mamíferos De Médio E Grande Porte Atropelados Por Trens No Extremo Sul Do Brasil. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, [S. l.], v. 1, n. 13, p. 19–29, 2015.

SMITH, P. Fauna Paraguay. *Prionodontes maximus*. **Handbook of the Mammals of Paraguay**. 2007; 6: 1-11.

SOUSA, Cláudia Orsini Machado De; FREITAS, Simone Rodrigues; DIAS, Arnaldo Aparecido; GODOY, André Borella Pereira De; METZGER, Jean Paul. O papel das estradas na conservação da vegetação nativa no Estado de São Paulo. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, [S. l.], p. 3087–3094, 2009.

TOMAS, Walfrido Moraes; CAMPOSA, Zilca; DESBIEZ, Arnaud Léonard Jean; KLUYBER, Danilo; BORGES, Paulo André Lima; MOURÃO, Guilherme. Mating Behavior of the Six-Banded Armadillo *Euphractus Sexcinctus* in the Pantanal Wetland, Brazil. **Edentata**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 87–89, 2013. DOI: 10.5537/020.014.0113.

TROMBULAK, Stephen C.; FRISSELL, Christopher A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 18–30, 2000. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x.

UNIÃO, Controladoria-Geral Da. Relatório De Auditoria Anual De Contas - Senasp. In: RELATÓRIO DE AUDITORIA ANUAL DE CONTAS 2012, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 1–152.

VASCONCELOS, George Henrique Duarte De. **O SISTEMA FERROVIÁRIO BRASILEIRO COMO FATOR DE INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO**. 2019. [S. l.], 2019.

WELLS, P. et al. **Wildlife mortalities on railways: monitoring methods and mitigation strategies**. In: ICOWET / International Conference on Wildlife Ecology and Transportation, 3. 1999, Missoula, Montana. Proceedings... Missoula, Montana, 1999. p.135-138.

WICKHAM H, Francois R, Henry L, Müller K (2019). **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. R package version 0.8.3, URL. Disponível em: <<https://CRAN.Rproject.org/package=dplyr>>. Acesso em: 02 jan. 2023.

WWF. **Cerrado - Berço das Águas**. [s.l.: s.n.].

ZAMBRINI, Ana Carolina Vasques. **Ecologia alimentar de tatu-peba, *Euphractus sexcinctus* (Linnaeus, 1758), na fazenda nhumirim, pantanal da nhecolândia, MS**. 2015. [S. l.], 2015.