

Tendências temporais no uso de passagens de fauna inferiores por mamíferos terrestres no corredor ecológico Serra da Moeda-Arêdes

Elaine Ferreira Barbosa¹, Laís Ferreira Jales¹, Joice Paiva Martins¹, Ludmila Hufnagel Regis Diniz Maia¹, Vanessa Oliveira Ribeiro^{2*}, Fernanda Carvalho Machado³, Leandro Moraes Scoss⁴

¹Analista Ambiental, Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, Brasil.

²Analista Ambiental, Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, Brasil. (*Autor correspondente: vanessa.ribeiro@sete-sta.com.br)

³Analista Ambiental, Gerdau S.A., Brasil.

⁴Consultor Ambiental, Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 13/12/2025 – Revisado em: 08/01/2026 – Aceito em: 24/01/2026

RESUMO

O presente estudo objetivou a avaliação da eficácia de estruturas inferiores em estradas como passagens de fauna, bem como se essas estruturas atenuam o efeito barreira de estradas na movimentação da fauna silvestre. O estudo foi conduzido na Alça Norte que constitui um trecho de acesso rodoviário projetado para o tráfego de caminhões, localizada entre duas minas da Gerdau e inserida nos limites do Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes. As duas passagens inferiores (PFIA1 e PFIA2) instaladas na Alça Norte foram monitoradas durante duas etapas, utilizando um desenho antes-depois, com objetivo de avaliar se houve melhora no uso de travessia por mamíferos terrestres. Os dados da 1ª etapa serviram como referência do uso das passagens sem efeito do tráfego da Alça Norte. Após 30 meses de monitoramento e 735 registros de uso das estruturas por 16 mamíferos, observou-se aumento na média mensal de registros fotográficos durante a 2ª etapa. Os resultados sugerem aumento no uso das estruturas para duas espécies (*Cuniculus paca* e *Eira barbara*) e declínio para três espécies (*Subulo gouazoubira*, *Leopardus guttulus* e *Dasypus novemcinctus*). Passados cinco anos da conclusão da instalação da Alça Norte, outras espécies foram registradas, como *Chrysocyon brachyurus*, *Nasua nasua*, *Cerdocyon thous*, *Leopardus pardalis*, *Didelphis* sp., *Procyon cancrivorus* e *Cavia aperea*. As evidências sugerem que sete espécies de mamíferos terrestres utilizam as passagens inferiores de fauna, e que a existência de tais estruturas pode diminuir o risco de atropelamento e mitigar o efeito de barreira de estradas no movimento de mamíferos terrestres.

Palavras-Chaves: Ecologia de estradas, passagem inferior, evidências de conservação, conectividade.

Temporal trends in use of wildlife underpasses by terrestrial mammals in the Serra da Moeda-Arêdes ecological corridor

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate whether there was an improvement in the crossing movements of terrestrial mammals, and if these underpasses decrease the barrier effect. Study was conducted on Alça Norte, a road access designed for truck traffic and located between two Gerdau mines, in limits of the Serra da Moeda-Arêdes Ecological Corridor. The two wildlife underpasses (PFIA1 and PFIA2) were monitored during two different stages, using a before-after design. Data from the 1st stage were used as a reference for the use of passages at a time when there was no effect of traffic on the Alça Norte. After 30 months of monitoring and 735 records of the use of structures by 16 terrestrial mammals, we observed an increase in the monthly average of photographic records during the road's operational phase. The results suggest an increase in the use of structures for two species (*Cuniculus paca* and *Eira barbara*) and a decline for three other species (*Subulo gouazoubira*, *Leopardus guttulus* and *Dasypus novemcinctus*). Five years after the completion of the Alça Norte installation works, other species began to be recorded, such as *Chrysocyon brachyurus*, *Nasua nasua*, *Cerdocyon thous*, *Leopardus pardalis*, *Didelphis* sp., *Procyon cancrivorus* and *Cavia aperea*. Full road-crossings for at least seven species of terrestrial mammals reinforces the existence of movement of individuals between the conservation units surrounding Alça Norte. Evidence also suggests that wildlife underpasses can reduce road kills and mitigate the effect of road barriers on the movement of terrestrial mammals.

Keywords: Road ecology, underpass, conservation evidence, connectivity.

Tendencias temporales en la utilización de pasos de fauna inferiores por mamíferos terrestres en el corredor ecológico Serra da Moeda-Arêdes

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia de los pasos inferiores en carreteras como infraestructuras de cruce para la fauna y determinar si estas estructuras contribuyen a mitigar el efecto barrera provocado por las vías en el desplazamiento de los animales. La investigación se desarrolló en el Alça Norte, situado entre dos minas de Gerdau y dentro del Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes. Los dos pasos inferiores instalados (PFIA1, PFIA2) fueron monitoreados en dos fases mediante un diseño antes-después, con el fin de verificar posibles cambios en el uso de estas estructuras por parte de mamíferos. Los datos de la primera fase sirvieron como línea base para caracterizar el uso de los pasos en ausencia del flujo vehicular. Tras 30 meses de monitoreo y la obtención de 735 registros de uso correspondientes a 16 mamíferos, se observó un incremento en el promedio mensual de registros durante la segunda fase. Los resultados indican aumento en el uso de los pasos por dos especies (*Cuniculus paca* y *Eira barbara*) y una disminución para tres (*Subulo gouazoubira*, *Leopardus guttulus* y *Dasyurus novemcinctus*). Cinco años después de la finalización del Alça Norte, también se registró la presencia de otras especies, como *Chrysocyon brachyurus*, *Nasua nasua*, *Cerdocyon thous*, *Leopardus pardalis*, *Didelphis* sp., *Procyon cancrivorus* y *Cavia aperea*. En conjunto, la evidencia sugiere que al menos siete especies de mamíferos terrestres utilizan los pasos inferiores para fauna silvestre, y que la implementación de estas estructuras puede reducir el riesgo de atropellamientos y contribuir a mitigar el efecto barrera de las carreteras sobre el movimiento de los mamíferos.

Palabras clave: Ecología vial, paso subterráneo, evidencia de conservación, conectividad.

1. Introdução

A fragmentação de habitat causada pela construção de estradas provoca impactos sobre a fauna que habita as áreas do entorno. Segundo Bennett (1991) e Forman et al. (2003), esses impactos podem ser devidos às características da própria estrada, como volume de tráfego e sua largura, podendo se manifestar de forma direta (morte por atropelamento e interrupção de rotas de deslocamento) e indireta (alterações de temperatura, ruído, poluição etc.). Entre os principais impactos ecológicos causados por estradas, Trombulak e Frissell (2000) destacam a mortalidade de espécies de animais devido às colisões com veículos, modificação do comportamento animal, alteração do ambiente físico, alteração do ambiente químico e a dispersão de espécies exóticas. Além de aumentar o risco para os animais que tentam cruzar a estrada (ver Scoss et al., 2004; Grilo et al., 2018), as alterações podem ainda representar uma barreira para algumas espécies (Bennett, 1991; Müller & Berthoud, 1997; Jones, 2000; Forman et al., 2003), o que pode afetar a dispersão ou movimento de indivíduos entre manchas remanescentes de vegetação nativa e a persistência de suas populações (Mader, 1984; Burnett, 1992; Forman & Alexander, 1998; Goosem, 2001; Seiler, 2001; Bond & Jones, 2008; Taylor & Goldingay, 2014).

Em resposta aos efeitos negativos provocados por estradas, com destaque para a mortandade de animais por atropelamento, diversas iniciativas buscam cada vez mais melhorar a conectividade estrutural e funcional dos ambientes afetados (Clevenger & Nigal, 2000; Jaeger & Fahrig, 2004; Jackson & Fahrig, 2011). Algumas estratégias têm sido executadas para minimizar as ocorrências de atropelamentos, entre elas destacam-se aquelas que influenciam o comportamento do animal, tais como, instalação de passagens de fauna inferior (subterrânea) e superior (elevada, suspensa ou aérea) para transpor rodovias e estradas. No contexto da ecologia de estradas (Forman et al., 2003), passagens de fauna subterrâneas ou aéreas podem ser conceituadas como estruturas adaptadas ou construídas especificamente para travessia de fauna de uma margem a outra da estrada, sem risco de colisão com veículos (Grilo et al., 2018). Essas estruturas têm como princípio restabelecer a conectividade estrutural e funcional entre fragmentos de habitat nas paisagens cortadas por estradas (Corlatti et al., 2009; Abra, 2012; 2019). A instalação dessas estruturas favorece a movimentação dos animais de forma segura (Gagnon et al., 2015; Huijser et al., 2016) e a manutenção do fluxo gênico das populações locais (Clevenger & Nigal, 2000; Forman et al., 2003; Trocmé, 2006; Bond & Jones, 2008; Abra, 2012; Huijser et al., 2016; Gonzalez-Gallina et al., 2018; Saito & Balestieri, 2021).

O uso dessas estruturas por diferentes espécies da fauna vem sendo relatado com frequência na literatura (ver Hunt et al., 1987; Foster & Humphrey, 1995; Yanes et al., 1995; Clevenger & Waltho, 2000; Mata et al., 2005; Goosem et al., 2006; Bond & Jones, 2008; Abra, 2012; Huijser et al., 2016; Gonzalez-Gallina et al., 2018; Soanes et al., 2024). Alguns trabalhos têm mostrado que as passagens inferiores sob estradas auxiliam a dispersão da fauna, aumentam a permeabilidade entre os ambientes que ocupam as suas margens, embora a intensidade de uso e a movimentação através destas estruturas seja variável entre os diversos grupos faunísticos

(e.g. Yanes et al., 1995; Huijser et al., 2016; Soanes et al., 2024). Contudo, a construção de passagens de fauna para conectar os ambientes das margens das estradas ainda é muito recente no Brasil (Rosa & Bager, 2013; Abra et al., 2019), assim como o monitoramento destes tipos de estruturas que apresentam potencial para fornecer informações biológicas relevantes sobre as espécies que as utilizam (ver Yanes et al., 1995).

Neste contexto, o presente artigo apresenta os resultados do monitoramento de duas passagens de fauna com auxílio de armadilhas fotográficas durante os meses de fevereiro de 2017 e abril de 2018 (1ª etapa) correspondente à fase de instalação da Alça Norte, antes do início do tráfego de veículos, enquanto o período entre fevereiro de 2023 e abril de 2024 (2ª etapa) corresponde à fase de operação, com a movimentação de caminhões e eventualmente de veículos leves. Juntas, essas duas etapas totalizaram 30 meses de monitoramento. Os principais objetivos foram avaliar o uso das duas passagens de fauna inferiores por mamíferos terrestres e determinar se houve melhora no uso dessas estruturas com o passar do tempo.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A Serra da Moeda está localizada em Minas Gerais, na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, província mineral mais importante do sudeste do Brasil (Schobbenhaus & Silva, 2012). Apresenta aproximadamente 40 km de extensão, com cotas altimétricas acima de 1.300 m, o que favorece a ocorrência de formações naturais florestais e campestres de extrema relevância para a conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica e ecossistemas associados (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da área de estudo com a localização das passagens de fauna inferior (PFI) no acesso rodoviário Alça Norte, Itabirito, MG.



A história de ocupação da região é marcada pelo desenvolvimento de atividades relacionadas à extração de recursos minerais, mas, ainda assim, é reconhecida como área de “importância biológica especial”, sendo indicada como uma das áreas prioritárias para conservação no estado (Drummond et al., 2005) devido à presença dos campos ferruginosos e à ocorrência de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Esses elementos naturais estão representados em duas unidades de conservação de proteção integral criadas em 2010 na região, o Monumento Natural (MONA) da Serra da Moeda na divisa dos municípios de Moeda e Itabirito, e a Estação Ecológica (ESEC) de Arêdes, localizada no município de Itabirito. A área de estudo também está inserida nos limites do Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes (Minas Gerais, 2024), criado com objetivo de permitir a conectividade dos ambientes campestre e florestais e o fluxo gênico entre populações da fauna e da flora entre as duas unidades de conservação (Figura 1).

Entre essas duas áreas protegidas foi projetado um acesso rodoviário para melhorar as condições de tráfego de caminhões que transportam minério de ferro e estéril de mineração entre duas minas (Várzea do Lopes e Miguel Burnier). As obras de implantação e pavimentação da Alça Norte foram iniciadas no final de 2015 e encerradas em meados de 2017. Nesse caso, houve a implantação apenas do acesso Alça Norte, Mina Várzea do Lopes, que atualmente estabelece acesso interno da mineradora para o transporte do material estéril até a pilha denominada PDE-01.

Durante as obras, foram instaladas duas estruturas de travessia de fauna, constituídas de bueiros simples celulares de concreto (BSCC) pré-moldados, com 2,0 m de altura, 2,5 m de largura e aproximadamente 20 m de comprimento (Figura 2).

Figura 2 – Detalhes das passagens de fauna inferiores (PFI A1 e PFI A2) instaladas em um trecho da Alça Norte como estruturas de travessia de fauna.



As duas passagens de fauna inferiores (PFI A1 e PFI A2) são estruturalmente idênticas, mas a passagem PFI A1 do Córrego do Sabão é permanentemente úmida, enquanto a outra passagem, a PFI A2, é uma passagem seca-úmida, pois foi instalada em drenagem intermitente. Em ambos os casos, a vegetação das margens ocorre muito perto das entradas a montante e jusante, que correspondem aos limites do MONA da Serra da Moeda e ESEC de Arêdes, respectivamente, o que permite a movimentação de espécimes da fauna entre as unidades. Para evitar travessias de animais nesses trechos da Alça Norte e direcionar o uso dessas estruturas, as margens das duas passagens de fauna receberam cercas-guia de arame galvanizado, com 100 m de comprimento e 2,0 m de altura.

A Alça Norte possui extensão de 6,7 km, volume diário médio (VDM) inferior a 500 veículos/dia e velocidade máxima permitida de 60 km/h, sendo o acesso utilizado apenas por caminhões e veículos leves relacionados à atividade de mineração (Brandt, 2011). O trecho monitorado corresponde aos primeiros 2 km

da estrada, onde as passagens de fauna foram instaladas. O monitoramento das estruturas de travessia foi realizado durante as estações seca e chuvosa, em dois momentos distintos. A primeira etapa foi conduzida logo após a conclusão das obras de implantação, entre os meses de fevereiro de 2017 e abril de 2018 (15 meses), enquanto a segunda etapa corresponde ao período entre fevereiro de 2023 e abril de 2024 (15 meses), e teve como objetivo avaliar se houve melhora no uso e movimentos de travessia dos animais em relação aos resultados do período anterior.

2.2 Monitoramento das passagens inferiores de fauna (armadilhas fotográficas)

As duas passagens inferiores de fauna foram monitoradas durante duas etapas distintas (1ª e 2ª etapa), utilizando um desenho antes-depois (ver Soanes et al., 2024). Os registros obtidos durante os meses de fevereiro de 2017 e abril de 2018 (1ª etapa) correspondem à fase de instalação da Alça Norte, antes do início do tráfego de veículos, enquanto o período entre fevereiro de 2023 e abril de 2024 (2ª etapa) corresponde à fase de operação, com a movimentação de caminhões e eventualmente de veículos leves. Cada etapa do monitoramento corresponde a 15 meses de amostragem diária, totalizando 30 meses de amostragem das duas passagens de fauna. As etapas representam momentos específicos da estrada Alça Norte, incluindo a fase final das obras para sua instalação (1ª etapa) e sua operação (2ª etapa), como aprovado pelos órgãos ambientais.

Armadilhas fotográficas da marca Bushnell (modelo Throphy CamTM) com câmera digital e sensor infravermelho foram utilizadas nas extremidades das duas passagens inferiores de fauna. Durante a primeira etapa do monitoramento (2017-2018), apenas uma das extremidades da PFI A1 (UTM 23k 611936 / 7755345) e PFI A2 (UTM 23k 611883 / 7755395) foi avaliada, o que permite confirmar o uso das estruturas pela fauna, sem, entretanto, evidenciar travessias pelas estruturas. Nessa etapa, anterior à operação da Alça Norte, as armadilhas foram instaladas em postes de madeira, a uma altura de aproximadamente 50 cm do solo, direcionadas para a extremidade de cada uma das passagens a fim de permitir a captura de fotos e vídeos dos animais, em intervalos de um minuto. Os equipamentos permaneceram em funcionamento durante 24 horas por dia, com manutenção trimestral para troca de baterias e cartão de memória.

Durante a segunda etapa do monitoramento (2023-2024) foram instaladas duas armadilhas fotográficas por estrutura de passagem, sendo uma por extremidade, sendo a posição jusante (PFI A1a e PFI A2a) na margem da ESEC de Arêdes e montante (PFI A1b e PFI A2b), próxima dos limites do MONA da Serra da Moeda (Figura 1). A utilização de duas armadilhas por estrutura permitiu avaliar o uso e, principalmente, o total de travessias, visto que as passagens estão localizadas na porção central do Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes. Nesta segunda etapa, as armadilhas foram inseridas em caixas metálicas fixadas sobre blocos de concreto, a uma altura de aproximadamente 50 cm do solo, direcionadas para as extremidades, com a mesma programação da etapa anterior, mas com manutenção mensal.

Todas as fotos e vídeos registrados em ambas as etapas e passagens de fauna foram triados, tabulados em planilha eletrônica e as espécies classificadas segundo o arranjo taxonômico de Quintela et al. (2020) e grupo ecológico a partir das características apresentadas por Paglia et al. (2012). Os registros foram identificados quanto à estrutura (PFI A1 ou PFI A2), local da armadilha fotográfica (extremidade jusante ou montante), data, hora e táxon registrado no menor nível taxonômico possível.

Todos os registros de animais terrestres entrando ou saindo das passagens de fauna foram classificados como uso da estrutura. Assume-se que uma travessia completa da passagem inferior de fauna ocorre quando as imagens registradas (fotos ou vídeos) permitem identificar de forma precisa o mesmo táxon, mesma data e horário similar movendo-se na mesma direção em ambas as extremidades de uma estrutura. Se houve registro em uma extremidade sem correspondência na outra, em um intervalo máximo de 15 minutos, o registro foi classificado como uso da estrutura, não como travessia.

2.3 Análise dos dados

Para as análises comparativas quanto ao uso das passagens de fauna inferiores por mamíferos terrestres entre as etapas do monitoramento, foram utilizados os registros fotográficos obtidos na extremidade a jusante das duas estruturas avaliadas durante a 1ª etapa (PFI A1 e PFI A2) e 2ª etapa (PFI A1a e PFI A2a). Mesmo com esforço de amostragem diário, os registros de cada táxon foram agrupados por etapa e mês de amostragem. Foram excluídos das análises registros sem identificação específica (táxon não identificado), assim como

táxons com imprecisão taxonômica. Espécimes identificados somente até gênero foram considerados nas análises somente quando nenhum táxon tenha sido identificado até o nível específico. Para os gêneros *Dasypus* e *Leopardus*, duas ou mais espécies foram identificadas nas passagens de fauna, o que condicionou a exclusão de registros classificados com essas imprecisões.

As estimativas de riqueza de espécies pelo procedimento Jackknife de 1ª ordem (Heltshe & Forrester, 1983), para um mesmo esforço de amostragem, foram calculadas com auxílio do programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013). Os resultados foram comparados a partir da inferência por intervalo de confiança a 95% de probabilidade ($p < 0,05$), correspondente do teste t de Student (Zar, 1999).

As mudanças temporais no uso das passagens de fauna inferiores foram avaliadas a partir de uma adaptação da proposta de Soanes et al. (2024), que discutem a relação entre o efeito de barreira provocado por estradas e a efetividade das estruturas de travessia segura para a fauna (ver também Müller & Berthoud, 1997). Para esta avaliação, consideramos os dados da 1ª etapa como referência (benchmark) do uso das passagens, no momento em que não havia efeito do tráfego da Alça Norte. Já os dados da 2ª etapa das amostragens permitiram determinar a extensão da mudança no uso das estruturas, após o término das obras e início efetivo da circulação regular de veículos. O cálculo da mudança percentual foi obtido a partir do cruzamento dos resultados de uso das passagens por mamíferos terrestres durante a 2ª etapa em relação à 1ª etapa, segundo a equação 1:

$$\text{Equação 1} \quad \frac{(\text{registros de uso na 2ª etapa}) - (\text{registros de uso na 1ª etapa})}{(\text{registros de uso na 1ª etapa})} * 100$$

O valor percentual calculado representa a extensão da mudança no uso das passagens de fauna após cinco anos da instalação das estruturas. Os resultados por espécie foram classificados como “aumento” (valores +), “declínio” (valores -), “novo registro de uso” (cálculo inválido; valores divididos por zero) e “sem mudança” (valores = 0). Quando há registro de uso de uma das passagens de fauna na 2ª etapa, mas não no benchmark (i.e. sem registros na 1ª etapa), o resultado foi classificado como “novo registro de uso”, porque nenhum valor percentual pôde ser calculado quando não houve registro de uso durante a 1ª etapa. Por outro lado, quando determinada espécie foi registrada utilizando as passagens durante a 1ª etapa, mas não durante as amostragens da 2ª etapa, o resultado foi classificado como “sem mudança”, ao invés de declínio de 100%. Aumento e declínio, portanto, somente podem ser atribuídos às espécies registradas em ambas as etapas, conforme os critérios apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios utilizados para interpretar a mudança percentual do uso das passagens de fauna por mamíferos terrestres, adaptado de Soanes et al. (2024).

% Mudança (2ª etapa - 1ª etapa) / 1ª etapa * 100	% Mudança categorizada	Notas sobre o cálculo da variação percentual
Erro ao dividir por zero	Novo registro de uso	Registro de uso das passagens apenas durante a 2ª etapa, o que não permite avaliar o efeito da instalação das estruturas na movimentação da espécie-alvo.
Valor positivo (+) >100%	Aumento 100+	Aumento no uso das passagens de fauna indica que as estruturas melhoraram o movimento de travessia da estrada pela espécie-alvo, após o início da circulação de veículos.
Valor positivo (+) entre 75% e 100%	Aumento 75-100	
Valor positivo (+) entre 50% e 75%	Aumento 50-75	
Valor positivo (+) entre 25% e 50%	Aumento 25-50	
Valor positivo (+) entre 10% e 25%	Aumento 10-25	
Valor negativo (-) entre 10% e 25%	Declínio 10-25	

% Mudança (2ª etapa - 1ª etapa) / 1ª etapa*100	% Mudança categorizada	Notas sobre o cálculo da variação percentual
Valor negativo (-) entre 25% e 50%	Declínio 25-50	Diminuição no uso das passagens de fauna indica que houve alguma perda na movimentação da espécie-alvo, após o início da circulação de veículos.
Valor negativo (-) entre 50% e 75%	Declínio 50-75	
Valor negativo (-) entre 75% e 100%	Declínio 75-100	
Valor negativo (-) >100%	Sem mudança	Registro de uso das passagens apenas durante a 1ª etapa, o que não permite avaliar o efeito da instalação das estruturas na movimentação da espécie-alvo.

Também foi aplicado um ajuste de modelo de regressão linear (Zar, 1999) para avaliar a relação entre o número de registros fotográficos nas extremidades das passagens e o total de travessias completas. Essa análise foi realizada no pacote operacional Statistica 7.1 (Statsoft, 2005).

3. Resultados e Discussão

3.1 Dados sobre os registros fotográficos

Durante as duas etapas do estudo foram obtidos 735 registros fotográficos de mamíferos utilizando as passagens de fauna inferiores PFI A1 e PFI A2, sendo 294 durante os 15 meses de amostragem entre os anos de 2017 e 2018 e outros 441 durante os 15 meses entre os anos de 2023 e 2024. As amostragens iniciais de fevereiro de 2017 a abril de 2018 (1ª etapa) resultaram em uma média de 19 a 20 fotos de mamíferos por mês utilizando as passagens de fauna PFI A1 e PFI A2, mas o uso das estruturas aumentou durante a fase de operação da via, quando o tráfego de veículos na Alça Norte para o transporte de material estéril foi maior. Nesse período, entre fevereiro de 2023 e abril de 2024 (2ª etapa), a média de registros de mamíferos utilizando as passagens foi de 29 a 30 por mês.

Uma variedade expressiva de espécies de mamíferos de médio e grande porte (>1 kg de peso corporal), além dos gêneros *Didelphis* e *Cavia* que representam pequenos mamíferos, foi detectada utilizando as passagens de fauna inferiores da Alça Norte ao longo do estudo. As armadilhas fotográficas registraram ao todo 16 mamíferos terrestres nas duas passagens de fauna inferiores (Tabela 2), o que representa o registro de indivíduos de aproximadamente 70% de todas as espécies de mamíferos de médio e grande porte com ocorrência confirmada para o MONA da Serra da Moeda ou ESEC de Arêdes (Detzel, 2016a; b), utilizando as passagens de fauna do acesso rodoviário Alça Norte.

Tabela 2 –Espécies de mamíferos terrestres e número de registros de uso das passagens de fauna inferiores PFI A1 e PFI A2 da Alça Norte, Itabirito, MG, agrupados por grupos ecológicos

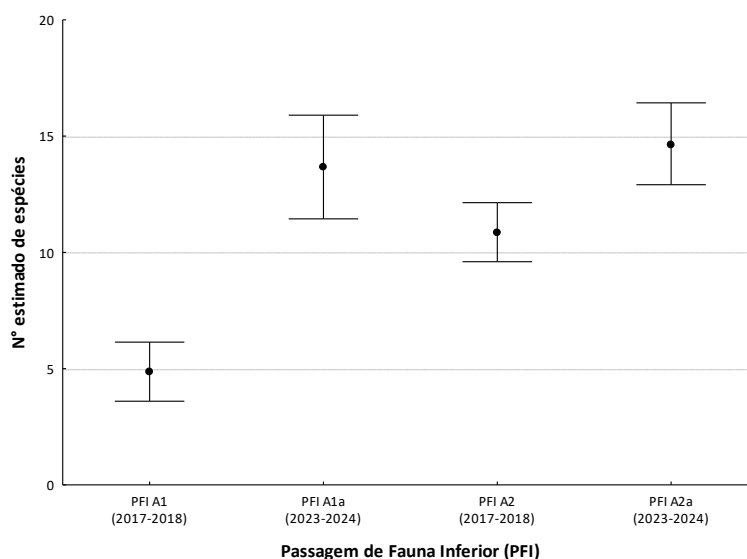
Grupo ecológico	Espécie / Táxon	Nome comum	1ª etapa (2017-2018)		2ª etapa (2023-2024)	
			PFI A1	PFI A2	PFI A1a	PFI A2a
Generalista	<i>Cerdocyon thous</i>	Cachorro-do-mato			1	1
	<i>Eira barbara</i>	Irara		2	58	18
	<i>Nasua nasua</i>	Quati			4	
	<i>Procyon cancrivorus</i>	Mão-pelada				1
	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Tatu-galinha		5	1	
	<i>Dasyopus septemcinctus</i>	Tatuí		1		
	<i>Didelphis</i> sp.	Gambá				2
Herbívoro terrícola	<i>Subulo gouazoubira</i>	Veado-catingueiro	76	49	3	

	<i>Cavia aperea</i>	Preá				1
	<i>Cuniculus paca</i>	Paca	114	33		304
Predador (carnívoro)	<i>Leopardus guttulus</i>	Gato-do-mato-pequeno	1	27	1	2
	<i>Leopardus pardalis</i>	Jaguaririca			1	1
	<i>Galictis cuja</i>	Furão	5	4		1
Predador (carnívoro - onívoro)	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	Lobo-guará				4
Predador (mirmecófago)	<i>Cabassous</i> sp.	Tatu-de-rabo-mole	1	1		
	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Tamanduá-mirim		12		
Total			78	216	106	335

Entre as espécies registradas, destaque para três classificadas como ameaçadas de extinção. O lobo-guará *Chrysocyon brachyurus* foi classificado na categoria “Vulnerável” (VU) segundo a lista estadual (COPAM, 2010) e nacional (MMA, 2022), e como “Quase Ameaçado” (QA) na lista global (IUCN, 2025). Já a jaguaririca *Leopardus pardalis* consta na categoria “Vulnerável” (VU) apenas na lista estadual (COPAM, 2010), tendo sido avaliada nas demais listas como “Menos Preocupante” (LC). O gato-do-mato-pequeno *Leopardus guttulus* foi classificado como “Vulnerável” (VU) nas três esferas de avaliação (COPAM, 2010; MMA, 2022; IUCN, 2025), embora seja relativamente comum na área de estudo, assim como o *C. brachyurus* (Barbosa et al., 2020).

Na fase de instalação da Alça Norte foram identificados nove táxons de mamíferos terrestres de um total de 294 registros, com estimativa de riqueza de $9,93 \pm 0,93$ (média $\pm$ desvio padrão). Concluídas as obras e iniciada a operação do acesso rodoviário, foram obtidos 441 registros de 13 táxons, o que resultou na estimativa de $16,73 \pm 1,65$ espécies. Com o passar do tempo, as passagens de fauna foram mais utilizadas e por um número maior de espécies, desde o momento da instalação dessas estruturas na Alça Norte. As estimativas médias indicam diferença no total de espécies que utilizou as duas passagens de fauna (Figura 3) logo após a instalação das estruturas e semelhança após cinco anos da instalação (inferência por intervalo de confiança; $p < 0,05$).

Figura 3 – Comparação das estimativas médias de riqueza de espécies de mamíferos terrestres que utilizaram as passagens de fauna inferiores PFI A1 e PFI A2, instaladas na Alça Norte. As barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.



As espécies de mamíferos mais frequentemente registradas nas passagens de fauna ($\geq 30\%$ dos meses monitorados) foram paca *Cuniculus paca*, veado-catingueiro *Subulo gouazoubira*, irara *Eira barbara*, gato-do-mato-pequeno *Leopardus guttulus* e tamanduá-mirim *Tamandua tetradactyla*. Ao todo, essas cinco espécies correspondem a 95,2% do conjunto total de dados sobre o uso das passagens ou 700 registros distribuídos entre as duas etapas do estudo. Em geral, as passagens foram utilizadas predominantemente por espécies do grupo dos herbívoros terrícolas (78,9%), seguidas dos generalistas (12,8%) e predadores (8,3%). A Figura 4 apresenta alguns registros fotográficos de mamíferos de médio e grande porte, obtidos durante o monitoramento.

Figura 4 – Mamíferos de médio e grande porte registrados nas passagens de fauna inferiores PFI A1 e PFI A2, instaladas na Alça Norte. A - Paca *Cuniculus paca*; B - Veado-catingueiro *Subulo gouazoubira*; C - Gato-do-mato-pequeno *Leopardus guttulus*; D – Jaguatirica *Leopardus pardalis*; E – Quati *Nasua nasua*; F - Irara *Eira barbara*; G e H – Lobo-guará *Chrysocyon brachyurus*.



Mudanças temporais no uso das passagens de fauna inferiores da Alça Norte foram detectadas por diferentes espécies de mamíferos (Tabela 3). Houve aumento no uso das estruturas PFI A1 e PFI A2 para duas

espécies (*C. paca* e *E. barbara*) e declínio para outras três espécies (*S. gouazoubira*, *L. guttulus* e *Dasypus novemcinctus*). Para quatro espécies os dados não evidenciam mudança no padrão de uso das passagens de fauna (*T. tetradactyla*, *Cabassous* sp., *Dasypus septemcinctus* e *Galictis cuja*), o que justifica a classificação desses resultados como “sem mudança”.

Tabela 3 – Total de registros fotográficos de mamíferos terrestres que utilizaram as passagens de fauna inferiores PFI A1 e PFI A2, em cada etapa do estudo, e classificação da mudança percentual no padrão de uso após cinco anos da instalação do acesso rodoviário Alça Norte

Táxon	PFI A1		PFI A2		Total de registros	Diferença entre etapas (2ª etapa - 1ª etapa)	% Mudança categorizada
	1ª etapa	2ª etapa	1ª etapa	2ª etapa			
<i>Cuniculus paca</i>		33	114	304	451	223	Aumento 100+
<i>Subulo gouazoubira</i>	76	3	49		128	-122	Declínio 75-100
<i>Eira barbara</i>		58	2	18	78	74	Aumento 100+
<i>Leopardus guttulus</i>	1	1	27	2	31	-25	Declínio 75-100
<i>Tamandua tetradactyla</i>			12		12	-12	Sem mudança
<i>Galictis cuja</i>		4	5	1	10	0	Sem mudança
<i>Dasypus novemcinctus</i>		1	5		6	-4	Declínio 75-100
<i>Chrysocyon brachyurus</i>				4	4	4	Novo registro de uso
<i>Nasua nasua</i>		4			4	4	Novo registro de uso
<i>Cerdocyon thous</i>		1		1	2	2	Novo registro de uso
<i>Leopardus pardalis</i>		1		1	2	2	Novo registro de uso
<i>Cabassous</i> sp.	1		1		2	-2	Sem mudança
<i>Didelphis</i> sp.				2	2	2	Novo registro de uso
<i>Procyon cancrivorus</i>				1	1	1	Novo registro de uso
<i>Dasypus septemcinctus</i>			1		1	-1	Sem mudança
<i>Cavia aperea</i>				1	1	1	Novo registro de uso
Total	78	106	216	335	735		

Passados cinco anos da conclusão das obras de instalação da Alça Norte, outras espécies começaram a ser registradas, utilizando as passagens de fauna, incluindo lobo-guará *Chrysocyon brachyurus*, quati *Nasua nasua*, cachorro-do-mato *Cerdocyon thous*, jaguatirica *Leopardus pardalis*, gambá *Didelphis* sp., mão-pelada *Procyon cancrivorus* e preá *Cavia aperea*. Como essas espécies não foram registradas durante a 1ª etapa do estudo, o resultado foi classificado como “novo registro de uso”, como discutido na análise dos dados.

3.2 Taxa de Travessias

As travessias completas do acesso rodoviário Alça Norte foram avaliadas a partir dos dados da 2ª etapa do estudo, visto que ambas as extremidades foram monitoradas simultaneamente. As armadilhas instaladas na posição jusante (PFI A1a e PFI A2a), que correspondem à margem da Alça Norte onde está localizada a ESEC de Arêdes, resultaram em 441 registros de 13 espécies de mamíferos. Na margem oposta, posição montante (PFI A1b e PFI A2b), onde as extremidades das passagens estão próximas do limite do MONA da Serra da Moeda., foram obtidos 156 registros de oito espécies.

Ao todo, os dados de 2023-2024 resultaram na identificação de 13 espécies de mamíferos terrestres em pelo menos uma das extremidades das passagens, sendo confirmada pelo menos uma travessia completa para sete dessas espécies (Tabela 4).

Tabela 4 – Número de registros fotográficos por espécie de mamífero terrestre identificada nas passagens de fauna Inferiores da Alça Norte, no período de fevereiro de 2023 a abril de 2024, com total de travessias completas e sua relação percentual com o total de registros por espécie

Táxon	PFI A1 Jusante	PFI A1 Montante	PFI A2 Jusante	PFI A2 Montante	Total de registros	Total de Travessias	% dos registros do táxon
<i>Eira barbara</i>	58	73	18	7	156	65	41,67
<i>Chrysocyon brachyurus</i>			4	2	6	2	33,33
<i>Leopardus guttulus</i>	1		2	4	7	2	28,57
<i>Leopardus pardalis</i>	1		1	2	4	1	25,00
<i>Subulo gouazoubira</i>	3	6		6	15	3	20,00
<i>Nasua nasua</i>	4	1			5	1	20,00
<i>Cuniculus paca</i>	33	5	304	49	391	54	13,81
<i>Cavia aperea</i>			1		1		0,00
<i>Cerdocyon thous</i>	1		1		2		0,00
<i>Dasypus novemcinctus</i>	1				1		0,00
<i>Didelphis sp.</i>		1	2		3		0,00
<i>Galictis cuja</i>	4		1		5		0,00
<i>Procyon cancrivorus</i>			1		1		0,00
Total	106	86	335	70	597	128	26,05

Aproximadamente a metade (53,85%) de todas as espécies registradas utilizou em algum momento as passagens para realizar travessias seguras (sem risco de atropelamento), o que reforça a existência de movimento de animais entre as unidades de conservação do entorno da Alça Norte, especificamente na porção central Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes.

Quanto maior o número de registros fotográficos nas extremidades das passagens, maior o número de travessias completas ($r = 0,8289$; $p = < 0,05$). Entretanto, o total de travessias completas através das passagens de fauna inferiores variou muito entre as espécies (mín. = 1 e máx. = 65). As espécies com maior número de travessias completas foram irara *E. barbara* e paca *C. paca*, com 65 e 54 travessias, o que representa 41,67% e 13,81% do total de registros de cada espécie, respectivamente. As demais travessias foram realizadas de uma a três vezes por outras cinco espécies de mamíferos (lobo-guará *C. brachyurus*, gato-do-mato-pequeno *L. guttulus*, jaguatirica *L. pardalis*, veado-catingueiro *S. gouazoubira* e quati *N. nasua*).

Em média, foram observadas $18,29 \pm 28,34$ (média $\pm$ desvio padrão) travessias de mamíferos nas estruturas avaliadas durante os 15 meses de amostragem. Os resultados indicam que a cada três registros fotográficos de espécies generalistas (*E. barbara* e *N. nasua*) e predadoras (*C. brachyurus*, *L. guttulus* e *L. pardalis*), um foi classificado como travessia completa (30,83% e 28,97% do total de registros, respectivamente). Já para os táxons do grupo herbívoros terrícolas, foi registrada uma travessia completa para, em média, 16,91% do total de registros de veado-catingueiro *S. gouazoubira* e *C. paca*. Para as demais espécies, todas com baixo número de registros e em apenas uma extremidade das passagens, não existem evidências de que um ou mais indivíduos tenha feito pelo menos uma travessia completa.

Passagens de fauna, assim como redutores de velocidade, refletores e placas de sinalização para os usuários da estrada, são consideradas medidas de mitigação de atropelamentos de fauna, com potencial de diminuir a perda de espécimes (Clevenger & Waltho, 2005; D'angelo et al., 2006; Grilo et al., 2018). Entretanto, ressalta-se que durante as amostragens das passagens de fauna inferiores da Alça Norte não foram registrados indivíduos mortos por atropelamento, o que não permite avaliar de forma direta a efetividade das estruturas para minimizar esse impacto negativo sobre mamíferos terrestres. Embora a instalação de passagens de fauna seja cada vez mais comum nas estradas do Brasil (Rosa & Bager, 2013; Abra et al., 2019), sua eficácia

como medida de mitigação do efeito barreira e de colisões entre veículos e espécimes da fauna silvestre permanece incerta (Rytwinski et al., 2015; Soanes et al., 2024). Entre as principais limitações, Soanes et al. (2024) destacam a falta de parâmetros de referência obtidos antes ou durante a construção da estrada, antes da instalação da medida de mitigação ou em áreas-controle, bem como o uso de comparações tendenciosas, que não permitem determinar se houve ganho ou perda de movimento após a instalação de passagens de fauna.

Os resultados demonstraram claramente que as duas estruturas foram utilizadas em ambos os períodos avaliados, por um número considerável de espécies de mamíferos, incluindo alguns táxons ameaçados de extinção. Indivíduos de pelo menos a metade das espécies registradas realizaram travessias completas em segurança através das passagens inferiores, o que confirma a movimentação da fauna na paisagem do Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes e, provavelmente, a manutenção da conectividade estrutural e funcional entre os ambientes das margens da estrada (ver Abra et al., 2021).

Há evidências suficientes de que as passagens de fauna inferiores do acesso rodoviário Alça Norte são utilizadas por diferentes espécies de mamíferos terrestres e que permitem o movimento de indivíduos através dessa estrada. Ambas as passagens foram utilizadas por mamíferos terrestres, embora na passagem seca-úmida (PFI A2), em drenagem intermitente, o total de espécies e de registros tenha sido significativamente maior em comparação à passagem úmida do Córrego do Sabão (PFI A1). Espécies como o lobo-guara *C. brachyurus*, tatuí *D. septemcinctus*, mão-pelada *P. cancrivorus* e tamanduá-mirim *T. tetradactyla* foram registradas exclusivamente na PFI A2, enquanto na PFI A1, apenas o quati *N. nasua* utilizou essa estrutura, sem qualquer registro na PFI A2.

Diversos estudos já demonstraram que diferentes espécies da fauna fazem uso de passagens inferiores, contudo, o uso regular dessas estruturas pode não ocorrer por muito tempo, como discutem Hunt et al. (1987), Foster & Humphrey (1995) e Clevenger & Waltho (2005). Após os distúrbios provocados pela instalação das duas passagens de fauna na Alça Norte, como movimentação de terra e supressão da vegetação nativa, era esperado um baixo número de registros de uso das passagens (ver Findlay & Bourdages, 2000). No entanto, as amostragens da 1ª etapa já indicavam intensa atividade de mamíferos nas extremidades de ambas as estruturas, como descrito por Barbosa et al. (2020), embora diferentes indivíduos e espécies possam apresentar respostas comportamentais distintas frente às alterações do hábitat e tipo de estrutura instalada (Goosem et al., 2006).

Os resultados em geral sugerem que o aumento do uso das passagens de fauna inferiores da Alça Norte pode ter relação com o término das obras e início do tráfego de veículos pesados e leves associados à mineração. A comparação entre os dois períodos de amostragem que representam as fases de instalação (antes) e operação (depois) do acesso rodoviário, indicou mudanças temporais no uso das passagens de fauna inferiores. Após a construção da estrada observa-se aumento no uso das estruturas para duas espécies (*C. paca* e *E. barbara*), manutenção do padrão de uso das passagens para quatro espécies (*T. tetradactyla*, *Cabassous* sp., *Dasyus septemcinctus* e *Galictis cuja*), além de novos registros de uso para espécies que não haviam sido registradas durante a etapa inicial do estudo (*C. brachyurus*, *N. nasua*, *C. thous*, *L. pardalis*, *P. cancrivorus* e *C. aperea*). Por outro lado, os resultados indicam declínio no uso das passagens para três espécies de mamíferos terrestres (*S. gouazoubira*, *L. guttulus* e *Dasyus novemcinctus*).

Os estudos prévios à instalação da Alça Norte indicaram que o atropelamento de fauna seria baixo durante a fase de instalação do acesso rodoviário, mas que a haveria perda de indivíduos por atropelamento durante a fase de operação (Brandt, 2011), em razão da circulação de caminhões para o escoamento da produção minerária, máquinas e veículos leves. Entretanto, não foram registrados eventos de atropelamento de fauna na Alça Norte nos dois períodos avaliados, seja na fase de instalação (2017-2018) ou operação (2023-2024). A ausência de registros de atropelamentos pode indicar que a estrada não impede a travessia de animais de uma margem a outra, ainda que algumas travessias sejam malsucedidas. O estudo, portanto, limitou-se a caracterizar a utilização das passagens de fauna inferiores por mamíferos terrestres, bem como a quantificar as travessias completas, mas os dados apresentados não permitem avaliar a efetividade dessas estruturas para minimizar eventos de atropelamento de fauna.

A avaliação quantitativa indica que quase a metade das espécies registradas nas passagens de fauna realizaram travessias completas de uma margem a outra da Alça Norte, o que permite cruzamentos da estrada sem risco de atropelamento. Entretanto, nem sempre as espécies mais frequentemente registradas nas extremidades das passagens são aquelas que realizam, efetivamente, travessias completas. Em diversas situações, indivíduos de diferentes espécies de mamíferos frequentaram as extremidades das estruturas sem,

contudo, utilizá-las para atravessar a estrada. Mesmo que os animais continuem atravessando a estrada, as passagens de fauna da Alça Norte permitem o movimento entre os ambientes que compõem as suas margens e contribuem, mesmo que indiretamente, para diminuir a probabilidade de ocorrência de atropelamentos de mamíferos terrestres, visto que o uso dessas estruturas garante que pelo menos uma parte das travessias ocorra de maneira segura. As passagens podem funcionar como medida mitigadora, muito embora não se espera que o efeito de minimização do impacto se manifeste da mesma forma e intensidade para todas as espécies de mamíferos terrestres (ver Yanes et al., 1995; Huijser et al., 2016; Abra et al., 2019; Soanes et al., 2024).

O desenho do estudo considerou o uso das passagens de fauna antes e depois do início da operação da Alça Norte. O uso de dados anteriores para as mesmas localidades onde as estruturas foram instaladas evita o viés discutido por Soanes et al. (2024), quando a mitigação aparentemente melhora a movimentação dos animais mesmo que nenhuma melhoria tenha de fato ocorrido. As amostragens para detectar mudança no uso das passagens foram sempre realizadas nas extremidades mais próxima à ESEC de Arêdes (posição jusante), atribuindo padrão às comparações, pois utilizou-se os mesmos locais em momentos distintos. Da mesma forma, a avaliação das fases de instalação (antes) e operação (depois) das duas passagens foi realizada em pontos fixos em frente às extremidades, onde as armadilhas fotográficas foram instaladas, quando já existiam as cercas-guia, o que também contribuiu para padronizar a extensão da estrada que estava sendo monitorada e evitar outro viés nos resultados, como discutem Van Manen et al. (2012) e Gagnon et al. (2015). A avaliação antes-depois garantiu uma avaliação mais robusta do conjunto de dados (Rytwinski et al., 2015), visto que os locais avaliados foram os mesmos para obter dados de referência e após manifestação do impacto pelo tráfego de veículos, o que permite associar as mudanças no uso das passagens pela fauna à fase de operação da Alça Norte.

O planejamento do monitoramento das passagens inferiores de fauna da Alça Norte, porção central do Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes, foi determinante na avaliação do desempenho dessas estruturas como medida de mitigação. A amostragem prévia realizada durante a fase de instalação da Alça Norte (1ª etapa) permitiu mensurar as mudanças de uso das estruturas na fase de operação (2ª etapa), quando se iniciou a movimentação de caminhões e veículos leves associados à mineração. Estudos que consideram amostragem apenas após a construção da estrada, sem nenhuma referência no pré-operação, geralmente avaliam de forma incorreta o sucesso da mitigação e não detectam aumento ou declínio na intensidade de uso e movimentação da fauna (Roedenbeck et al., 2007; van der Grift et al., 2013; Rytwinski et al., 2015; Soanes et al., 2024). Segundo Rytwinski et al. (2015), a avaliação do desempenho de passagens de fauna deve sempre considerar comparações com áreas-controle ou dados coletados antes, durante ou após a construção de uma estrada.

Apesar da confirmação de que as passagens de fauna inferiores permitem a travessia para diferentes espécies, não é possível determinar se os movimentos detectados foram de um único indivíduo ou de vários. Não se sabe qual a porcentagem da população em geral faz uso das passagens e, portanto, se o movimento é suficiente para garantir a persistência das populações locais ou se é uma ameaça (Taylor & Goldingay, 2012; van der Grift et al., 2013; Sawaya et al., 2014; Soanes et al., 2018). De qualquer forma, quando as passagens de fauna melhoram a movimentação dos animais, significa que o investimento provocou o efeito esperado de mitigação de impactos negativos (ver Soanes et al., 2024). Há ganhos tanto em relação aos aspectos envolvidos na manutenção e conservação de populações viáveis da fauna local como na relação custo-benefício da decisão pela instalação das passagens de fauna inferiores. Este parece ser o caso das passagens de fauna do acesso rodoviário Alça Norte que se mostraram importantes no contexto de conservação da paisagem em que está inserida o Corredor Ecológico da Serra da Moeda-Arêdes.

4. Conclusão

O uso de estruturas de travessia de fauna como medida de mitigação de impactos diretos provocados por estradas é cada vez mais comum. No entanto, a avaliação da eficácia dessas estruturas ainda é um desafio, sobretudo quando se pretende responder se atenuam o efeito barreira de estradas na movimentação da fauna silvestre, e neste sentido, este estudo contribuiu para ampliação do conhecimento sobre o uso das passagens de fauna inferiores pela fauna. O estudo registrou no total 16 mamíferos terrestres, sendo nove táxons em 294 registros na 1ª etapa de instalação da Alça-Norte e 13 táxons em 441 registros da 2ª etapa correspondente à operação.

As evidências demonstram que, deste total de registros, sete espécies de médios e grandes mamíferos fizeram travessias efetivas, utilizando as passagens inferiores de fauna para seu deslocamento. Conclui-se,

portanto, que a instalação de tais estruturas além de diminuir o risco de atropelamento pode mitigar o efeito de barreira da estrada, favorecer a conexão e o movimento das espécies no Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes e entre as unidades de conservação.

5. Agradecimentos

6. Referências

Abra, F. D.; Granziera, B. M.; Huijser, M. P.; Ferraz, K. M. P. M. B.; Haddad, C. M. & Paolino, R. M. Pay or prevent? Human safety, costs to society and legal perspectives on animal-vehicle collisions in São Paulo state, Brazil. (2019). **Plos One**, 14(4), e0215152. 2019.

Abra, F. D. (2012). **Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presentes na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 72p., Brasil.

Abra, F. D.; Huijser, M. P.; Magioli, M.; Bovo, A. A. A. & Ferraz, K. M. P. M. B. (2021). An estimate of wild mammal roadkill in São Paulo state, Brazil. **Heliyon**, 7 e06015.

Barbosa, E. F.; Silva, D. H.; Leopoldo, B. F. Jales, L. F. Hazan, D. M.; Lima, R. C. L. & Brina, A. E. (2020). Monitoramento das passagens inferiores de fauna presentes na Alça Rodoviária Norte, Itabirito, MG. (ed.) Pp. 80-95. In: Silva, E. (Org.). **Consolidação do potencial científico e tecnológico das ciências biológicas**. Ponta Grossa, PR: Atena.

Bennett, A. F. (1991). Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In: **Saunders, D. A. and Hobbs, R. J. (Eds.) Nature conservation 2: The role of corridors**. Chipping Norton: Surrey Beatty e Sons. Pp. 99-118.

Bond, A. R. & Jones N. J. (2008). Temporal trends in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. **Wildlife Research**, 35, 103–112.

Brandt Meio Ambiente. 2011. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA - Acesso Rodoviário Várzea do Lopes Gerdau Açominas, Itabirito e Ouro Preto, MG**.

Burnett, S. E. 1992. Effects of a rainforest road on movements of small mammals: mechanisms and implications. **Wildl. Res.**, 19 (1), 95-104.

Clevenger, A. P. & Niguel, W. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. **Conservation Biology**, 14 (1), 47-56.

Clevenger, A. P. & Waltho, N. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structure facilitating movement of large mammals. **Biol. Conserv.**, 121, 453-464.

Colwell, R. K. 2013. **Estimate S: Statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 9. University of Connecticut. Disponível em: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.

COPAM - Conselho Estadual De Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010**. Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais, 4 de mai. Disponível em: <https://siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13192>. Acessado em dezembro/2025. 2010.

Corlatti, L.; Hackländer, K. & Frey-Roos, F. R. E. D. Y. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. **Conservation Biology**, 23(3), 548-556.

- D'Angelo, G. J.; D'Angelo, J. G.; Gallagher, G. R.; Osborn, D. A.; Miller, K. V. & Warren, R. J. 2006. Evaluation of wildlife warning reflectors for altering white-tailed deer behavior along roadways. **Wildlife Society Bulletin**, 34(4), 1175-1183.
- Detzel Consulting. 2016a. Plano de Manejo do Monumento Natural Estadual da Serra da Moeda. **Relatórios Temáticos Meio Biológico - Fauna**. Instituto Estadual de Florestas, 294p.
- Detzel Consulting. 2016b. Plano de Manejo da Estação Ecológica Estadual de Arêdes. **Relatórios Temáticos Meio Biológico - Fauna**. Instituto Estadual de Florestas, 293p.
- Drummond, G. M.; Martins C. S.; Machado A. B. M.; Sebaio F. A.; Antonini, Y. (2005). **Biodiversidade em Minas Gerais: Um Atlas para a sua Conservação** (2a ed.) Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas. 240p.
- Findlay, C. S.; Boudages, A. J. (2000). Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. **Conservation Biology**, 1(14), 86-94.
- Forman, R. T. & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 29, 207.
- Forman, R. T.; Sperling, D.; Bissonette, J. A.; Clevenger, A. P.; Cutshall, C. D.; Dale, V. H., ... & Winter, T. C. (2003). **Road ecology: science and solutions**. Island press, 481p.
- Foster, M. L. & Humphrey, S. R. (1995). Use of underpasses by Florida panthers and other wildlife. **Wildlife Society Bulletin**, 23, 95-100.
- Gagnon, J. W.; Loberger, C. D.; Sprague, S. C.; Ogren, K. S.; Boe, S. L. & Schweinsburg, R. E. (2025). Cost-effective approach to reducing collisions with elk by fencing between existing highway structures. **Hum.-Wildl. Interact.**, 9 (2), 14.
- Gonzalez-Gallina, A.; Hidalgo-Mihart, M. G. & Castelazo-Calva, V. (2018). Conservation implications for jaguars and other neotropical mammals using highway underpasses. **Plos One**, 13 (11), e0206614.
- Goosem, M.; Weston, Y. & Bushnell, S. (2006). Effectiveness of rope bridge arboreal overpasses and faunal underpasses in providing connectivity for rainforest fauna. In **'Proceedings of International Conference of Ecology and Transportation 2005'**. (Eds C. L. Irwin, P. Garrett and K. P. McDermott.), 304-316.
- Goosem, M. (2001). Effects of tropical rainforest roads on small mammals: inhibition of crossing movements. **Wildlife Research**, 28, 351-364.
- Grilo, C.; Coimbra, M. R.; Cerqueira, R. C.; Barbosa, P.; Dornas, R. A.; Gonçalves, L. O., ... & Kindel, A. Brazil Road - Kill: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. **Ecology**, 99(11), 2018, pp. 2625. 2018.
- Heltshe, J. F.; Forrester, N. E. Estimating species richness using the jackknife procedure. **Biometrics**, v.39, p.1-11. 1983.
- Huijser, M.P.; Fairbank, E. R.; Camel-Means, W.; Graham, J.; Watson, V.; Basting, P. & Becker, D. Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. **Biol. Conserv.** 197,61-68. 2016.

- Hunt, A.; Dickens, H. J. & Whelan, R. J. (1987). Movement of mammals through tunnels under railways lines. **Aust. Zool.**, 24, 89-93.
- IUCN - International Union for Conservation of Nature. **The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025**. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acessado em: dezembro/2025. 2025.
- Jackson, N. D. & Fahrig, L. (2011). Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological Conservation**, 144, 3143–3148.
- Jaeger, J. A. & Fahrig, L. 2004. Effects of road fencing on population persistence. **Conservation Biology**, 18(6), 1651-1657.
- Jones, M. E. 2000. Road upgrade, road mortality and remedial measures: impacts on a population of eastern quolls and Tasmanian devils. **Wildlife Research**, 27, 289–296.
- Mader, H. J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. **Biological Conservation**, 29: 81–96.
- Mata, C.; Hervas, I.; Herranz, J.; Suarez, F. & Malo, J. E. 2005. Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. **Biological Conservation**, 124, 397–405.
- Minas Gerais. **Decreto nº 48.776, de 09 de fevereiro de 2024. Institui o Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes**. Diário do Executivo, 10 de fev. Disponível em < <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/48776/2024/>. Acessado em dezembro/2024. 2024.
- MMA – Ministério Do Meio Ambiente. **Portaria MMA nº 148, de 07 de junho de 2022. Atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção**. Diário Oficial da União, 7 de jun. Disponível em < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>>. Acessado em dezembro/2025. 2022.
- Muller, S. & Berthoud, G. (1997). **Fauna / Traffic Safety-Manual for civil engineers**. Lausanne: E'cole Polytechnique Fédérale de Lausanne (LAVOC).
- Roedenbeck, I. A.; Fahrig, L.; Findlay, C. S.; Houlahan, J. E.; Jaeger, J. A. G.; Klar, N.; Kramer-Schadt, S. & Van Der Grift, E. A. (2007). The Rauischholzhausen agenda for road ecology. **Ecology and Society**, 12(1), art11.
- Rosa, C. A.; Bager, A. (2013). Review of the factors underlying the mechanisms and effects of roads on vertebrates. **Oecologia Australis**, 17(1), 6-19.
- Rytwinski, T.; Van Der Ree, R.; Cunningham, G. M.; Fahrig, L.; Findlay, C. S.; Houlahan, J.; Jaeger, J. A. G.; Soanes, K. & Van Der Grift, E. A. (2015). Experimental study designs to improve the evaluation of road mitigation measures for wildlife. **Journal of Environmental Management**, 154, 48–64.
- Saito, E. N.; Balestieri, M. F. (Orgs). (2021). **Manual de Orientações Técnicas para Mitigação de Colisões Veiculares com Fauna Silvestre nas Rodovias Estaduais do Mato Grosso do Sul**. (1 ed). Campo Grande: SEINFRA, 63.
- Sawaya, M. A.; Kalinowski, S. T. & Clevenger, A. P. 2014. Genetic connectivity for two bear species at wildlife crossing structures in Banff National Park. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 281(1780), 20131705.

- Schobbenhaus, C. & Silva, C. R. (Orgs.). (2012). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil-CPRM, 748.
- Scoss, L. M.; De Marco Jr., P.; Silva, E. E Martins, S. V. (2004). Uso de parcelas de areia para o monitoramento de impacto de estradas sobre a riqueza de espécies de mamíferos. **Revista Árvore**, 28 (1), 121-127.
- Seiler, A. (2001). **Ecological effects of roads: a review**. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 40.
- Soanes, K.; Rytwinski, T.; Fahrig, L.; Huijser, M. P.; Jaeger, J. A. G.; Teixeira, F. Z.; Van Der Ree, R. & Van Der Grift, E. A. (2024). Do wildlife crossing structures mitigate the barrier effect of roads on animal movement? A global assessment. **J Appl Ecol.**, 61, 417-430.
- Soanes, K.; Taylor, A. C.; Sunnucks, P.; Vesk, P. A.; Cesarini, S. & Ree, R. (2018). Evaluating the success of wildlife crossing structures using genetic approaches and an experimental design: Lessons from a gliding mammal. **Journal of Applied Ecology**, 55(1), 129–138.
- Taylor, B. D. & Goldingay, R. L. (2014). Use of highway underpasses by bandicoots over a 7-year period that encompassed road widening. **Australian Mammalogy**, 36(2), 178.
- Taylor, B. D. & Goldingay, R. L. (2012). Facilitated movement over major roads is required to minimise extinction risk in an urban metapopulation of a gliding mammal. **Wildlife Research**, 39(8), 685.
- Statsoft, Inc. (2005). **Statistica (data analysis software system)**, version 7.1. www.statsoft.com.
- Trocme, M. (2006). **Habitat Fragmentation Due to Linear Transportation Infrastructure: An Overview of Mitigation Measures in Switzerland**. Swiss Transport Research Conference. March 15 – 17.
- Trombulak, S. C.; Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**, 14, 18–30.
- Van Der Grift, E. A.; Van Der Ree, R.; Fahrig, L.; Findley, S.; Houlahan, J.; Jaeger, J. A. G.; Klar, N.; Madriñan, L. F.; Olsen, (2013). L. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. **Biodiversity and Conservation**, 22, 425-448.
- Van Manen, F. T.; Mccollister, M. F.; Nicholson, J. M.; Thompson, L. M.; Kindall, J. L. & Jones, M. D. (2012). Short-term impacts of a 4-lane highway on American black bears in eastern North Carolina. **Wildlife Monographs**, 181(1), 1–35.
- Yanes, M.; Velasco, J. M.; Suárez, F. (1999). Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. **Biol. Conserv.**, 71, 217-222.
- Zar, J. H. (1999). **Biostatistical analysis**. (4^aed). New Jersey: Prentice-Hall, 663.