

GUIA DE BOAS PRÁTICAS
PARA AVALIAÇÃO DE EFETIVIDADE
DE **MEDIDAS DE MITIGAÇÃO** DOS
IMPACTOS SOBRE A FAUNA
EM **RODOVIAS**

2023



GUIA DE BOAS PRÁTICAS
PARA AVALIAÇÃO DE
EFETIVIDADE DE
MEDIDAS DE MITIGAÇÃO
DOS IMPACTOS SOBRE A
FAUNA EM **RODOVIAS**

Larissa Oliveira Gonçalves
Thales Andrés Carra
Fernanda Abra
Juliana Moreno Pina
Vanessa Suzana Cavaglieri Fonseca
Ana Luisa Tondin Mengardo
Luna Barreto Bernstein
Camilo Fragoso Giorgi
Renata Ramos Mendonça
Katia Maria P. M. de Barros Ferraz

DOI: 10.11606/9786587391472

REALIZAÇÃO

Programa USP Sustentabilidade (USPSusten), Superintendência de Gestão Ambiental, Universidade de São Paulo.

Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação de Fauna Silvestre, Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor Prof. Dr. Carlos Gilberto Carlotti Junior
Vice-reitora Profa. Dra. Maria Arminda do Nascimento Arruda

SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO AMBIENTAL

Superintendente Profa. Dra. Patrícia Faga Iglecias Lemos

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

Diretora Profa. Dra. Thais Maria Ferreira de Souza Vieira
Vice-diretor Prof. Dr. Marcos Milan

Revisão e edição Larissa Oliveira Gonçalves
Katia Maria Paschoaletto Micchi de Barros Ferraz
Imagens Larissa Oliveira Gonçalves
Desenho Capa José Adilson Milanêz
Diagramação Maria Clarete Sarkis Hyppolito

Catálogo na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Guia de boas práticas para avaliação de efetividade de medidas de mitigação dos impactos sobre a fauna em rodovias [recurso eletrônico] / Larissa Oliveira Gonçalves ... [et. al.]. - - Piracicaba : LEMaC-LCF/ESALQ/USP, 2023.
30 p. : il.

ISBN: 978-65-87391-47-2
DOI: 10.11606/9786587391472

1. Acidentes de trânsito - Mitigação 2. Animais silvestres - Conservação 3. Fauna
4. Rodovias 5. Tráfego rodoviário 6. Veículos I. Gonçalves, L. O. II. Carra, T. A. III. Abra, F.
IV. Pina, J. M. V. Fonseca, V. S. C. VI. Mengardo, A. L. T. VII. Bernstein, L. B. VIII. Giorgi, C.
F. IX. Mendonça, R. R. X. Ferraz, K. M. P. M. de B. XI. Programa USP Sustentabilidade -
USPsusten. Superintendência de Gestão Ambiental - SGA XII. Título

CDD 639.9

Elaborada por Maria Angela de Toledo Leme - CRB-8/3359

Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total da obra, desde que citada a fonte e a autoria respeitando a Licença Creative Commons indicada.



Sumário

● Apresentação	7
● Por que mitigar os impactos causados pelas rodovias e pelo tráfego sobre a fauna?	8
● Por que avaliar a efetividade das medidas de mitigação?	9
● O que sabemos sobre efetividade das medidas de mitigação para reduzir as colisões entre veículos e fauna?	10
● O que sabemos sobre efetividade das medidas de mitigação para manter, restaurar e/ou aumentar a conectividade em rodovias?	11
● Tomar decisões baseadas em evidências	14
● A necessidade de novas soluções e do manejo adaptativo	14
● Como elaborar um plano de avaliação de efetividade de medidas de mitigação	14
● 1. Ter clareza do impacto que está sendo mitigado e das medidas que serão avaliadas	16
● 2. Selecionar as espécies-alvo ou grupos-alvo de mitigação	16
● 3. Selecionar indicadores de efetividade que sejam relacionados aos resultados desejados	17
● 4. Definir as metas a serem alcançadas	18
● 5. Selecionar o desenho amostral que considere boas condições de referência e áreas controle	19





●	<i>6. Selecionar métodos amostrais adequados aos alvos estabelecidos</i>	21
●	<i>7. Selecionar as escalas espacial e temporal adequadas para cada amostragem</i>	21
●	<i>8. Destinar tempo suficiente para avaliar a efetividade da mitigação</i>	22
●	<i>9. Usar uma frequência de amostragem que permita estimativas rigorosas de efetividade dos indicadores</i>	22
●	<i>10. Medir variáveis que possam afetar os indicadores</i>	23
●	<i>11. Realizar análises estatísticas e análise crítica dos resultados</i>	24
●	<i>12. Tornar disponíveis e acessíveis os resultados de avaliação das medidas e os dados coletados</i>	25
●	<i>Considerações finais</i>	26
●	<i>Para saber mais</i>	26



Apresentação

Este documento apresenta orientações para a avaliação de efetividade de medidas de mitigação para redução de colisões entre veículos e fauna e manutenção e recuperação da conectividade da paisagem em rodovias. Ele foi baseado em manuais internacionais, fóruns de discussão multisetoriais e na literatura científica da área de Ecologia de Rodovias. Além das orientações apresentadas, esse guia traz exemplos e recomendações de cada item orientativo para o contexto de rodovias em operação. Ainda não há, no Brasil, um guia de boas práticas que possa auxiliar o planejamento desse tipo de avaliação em rodovias. Esse guia foi elaborado como parte de um projeto de pós-doutorado, financiado pelo Programa USP Sustentabilidade da Superintendência de Gestão Ambiental da Universidade de São Paulo. Ele teve a colaboração de técnicos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e tem como objetivo servir de subsídio para elaboração de planos de avaliação de efetividade de medidas de mitigação em rodovias.

●●● Por que mitigar os impactos causados pelas rodovias e pelo tráfego sobre a fauna?

As rodovias e o tráfego de veículos associado geram uma série de impactos à biodiversidade que podem ser causados por três principais mecanismos: degradação do habitat, redução da conectividade da paisagem e as colisões entre veículos e fauna (Teixeira et al., 2020). Esse último é reconhecido como uma das principais causas de defaunação, com grandes consequências para a persistência das populações de animais silvestres (Dirzo et al., 2014; Fahrig; Rytwinski, 2009). No Brasil, temos números alarmantes de mortes de animais silvestres em rodovias: mais de oito milhões de aves e dois milhões de mamíferos mortos por ano (González-Suárez et al. 2018). Para o estado de São Paulo estima-se que morram, em média, 39.600 mamíferos de médio e grande porte por ano (Abra et al., 2021). Outro dado para rodovias de Mato Grosso do Sul indica que, em média, mais de 12.000 animais maiores de 1 kg foram mortos em três anos (Ascensão et al., 2021). A colisão com animais em rodovias apresenta implicações que vão além dos impactos à biodiversidade, como os agravos à saúde humana e os danos econômicos (Abra et al., 2019; Ascensão et al., 2021). No estado de São Paulo, foi estimado que, em um ano, os acidentes com animais oneraram a sociedade em R\$ 56.550.642 e que 18,5% desses acidentes ocasionavam ferimentos ou morte de pessoas (Abra et al., 2019). Cerca de 40% dos registros realizados nas rodovias de Mato Grosso do Sul foram de animais que podiam estar envolvidos em acidentes capazes de causar danos materiais (Ascensão et al., 2021). Ainda, esses mesmos dados obtidos em Mato Grosso do Sul demonstraram que os investimentos em medidas de mitigação podem superar os custos perdidos com as colisões a longo prazo (Ascensão et al., 2021).



Figura 1: As colisões com animais nas rodovias afetam diversos grupos da fauna. Como exemplos: um tucano-de-bico-verde (*Ramphastos dicolorus*), um mão-pelada (*Procyon cancrivorus*) e uma tartaruga-tigre-d'água (*Trachemys dorbigni*).

●●● Por que avaliar a efetividade das medidas de mitigação?

Existem dezenas de tipos de medidas de mitigação para reduzir os impactos das rodovias e algumas delas (como placas sinalizadoras, passagens de fauna e cercamentos) estão, cada vez mais, sendo implementadas nas rodovias brasileiras. **É preciso saber se as medidas adotadas estão funcionando para reduzir os impactos decorrentes da operação das rodovias.** No entanto, ainda necessitamos de maiores evidências sobre a efetividade dessas ações na redução dos impactos associados (Rytwinski et al., 2016). Para isso, até que tenhamos mais evidências de quais medidas funcionam, para quais animais (grupos-alvo da mitigação) e em quais contextos, é imprescindível que seja feita a avaliação de efetividade dessas medidas após a sua implementação (Roedenbeck et al., 2007; Van der Grift et al., 2013). Além disso, é essencial que os atores envolvidos com a implementação das medidas de mitigação e a sociedade saibam que o investimento financeiro aplicado à instalação dessas medidas foi utilizado de forma eficiente e adequada.

Para fins deste guia, efetividade refere-se à capacidade de alcançar o objetivo proposto, ou seja, reduzir os impactos decorrentes da operação das rodovias.



Figura 2 - Exemplos de medidas de mitigação: passagens inferiores de fauna (A, B e C), passagem superior de fauna ou viaduto vegetado (D), cercamentos para fauna de grande (E) e pequeno (F) porte, ponte de dossel (G e H) e placas sinalizadoras (I e J).

●●● 0 que sabemos sobre efetividade das medidas de mitigação para reduzir as colisões entre veículos e fauna?

A melhor evidência que sintetiza, até o momento, resultados sobre a efetividade de medidas de mitigação para reduzir colisões entre veículos e fauna é uma meta-análise de 2016 publicada por Rytwinski et al. (2016). Ela demonstra que, de uma maneira geral, cercas com ou sem estruturas de travessia de fauna são as medidas que mais funcionam para reduzir as colisões. **As cercas (com ou sem estruturas de travessia) reduziram em até 54% as colisões.** Ainda, estruturas de travessia sem cerca não funcionaram para reduzir as colisões. Cabe salientar que dos 50 estudos que essa meta-análise levou em conta, nenhum foi realizado na América do Sul e que os autores destacam que ainda faltam estudos robustos para responder as principais perguntas sobre efetividade de mitigação que incluam um número maior de medidas e diferentes grupos-alvo da fauna, especialmente de médio e pequeno porte. Na literatura, há exemplos de estudos de casos publicados após a meta-análise que também demonstram sucesso para medidas que visam redução de colisões com fauna. Um estudo avaliando influência da extensão de cercas demonstrou que cercas, maiores que 5 km podem reduzir mais de 80% das colisões com mamíferos de grande porte (Huijser et al., 2016).



Figura 3 - Cerca instalada para reduzir as colisões entre veículos e fauna.

Mesmo que apenas as cercas possam ser mais efetivas para reduzir as colisões com fauna (pois bloqueiam o acesso dos animais à pista), é preciso ter clareza que a ausência de estruturas de travessia associadas às cercas gera uma barreira ao movimento dos animais, o que reduz a conectividade e aumenta o isolamento das populações nos dois lados da via. Assim, o recomendável é instalar cercas que evitem as colisões associadas às estruturas de travessia que promovam o cruzamento seguro dos animais.

E o que sabemos para o Brasil?

São poucos os estudos publicados no Brasil que avaliaram a efetividade de medidas de mitigação para redução das colisões. Ainda não há informações consistentes e conclusivas para que possamos ter um panorama geral. Sabemos que no Rio Grande do Sul e em São Paulo existem iniciativas em andamento, realizando a avaliação da efetividade de cercas para redução das mortes de animais silvestres, entretanto ainda não temos acesso aos resultados alcançados. Também há um estudo experimental demonstrando que cercas desenhadas para animais pequenos no hemisfério norte ainda precisam de adaptações para barrar a diversidade de anfíbios existentes no Brasil (Heiermann, 2021).

●●● O que sabemos sobre efetividade das medidas de mitigação para manter, restaurar e/ou aumentar a conectividade em rodovias?



Figura 4 - Ponte de dossel que permite a travessia segura da fauna arborícola.

Existem inúmeros estudos que demonstram a utilização de estruturas de travessia pela fauna, permitindo a movimentação segura entre os dois lados da via. Entretanto, ainda são poucos os exemplos de estudos que avaliaram o movimento dos indivíduos e se as estruturas de travessia promoveram aumento dos deslocamentos após a instalação das medidas. Em uma revisão sobre esse tema¹, fica evidente a escassez de estudos que avaliem o quanto as estruturas de travessia evitam o declínio do movimento dos animais após a construção de uma rodovia, restauram o movimento

¹Dados não publicados provenientes da revisão 'Do wildlife crossing structures mitigate the barrier effect of roads on animal movement? A global assessment' disponibilizada pelos autores Kylie Soanes, Trina Rytwinski, Lenore Fahrig, Marcel P. Huijser, Jochen A.G. Jaeger, Fernanda Z. Teixeira, Rodney van der Ree e Edgar A. van der Grift, em março de 2023.



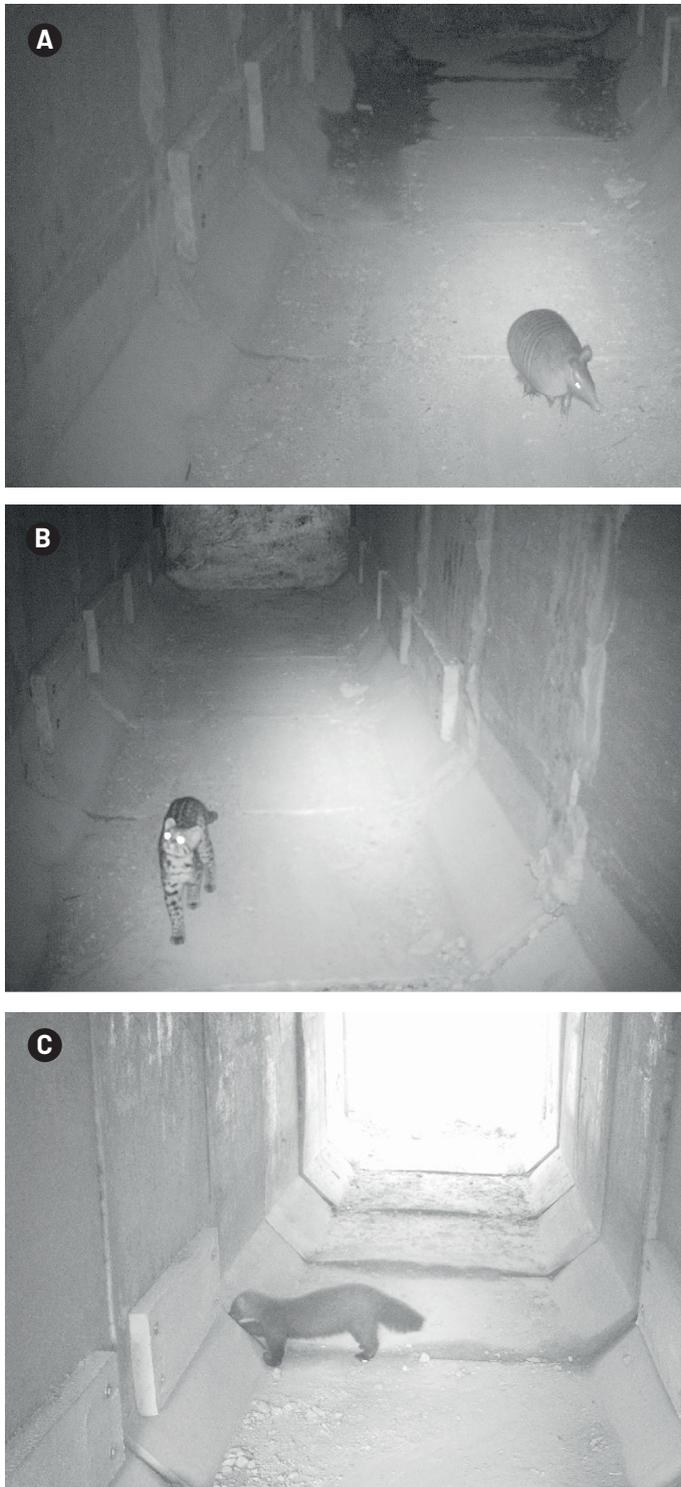


aos níveis de pré-construção, ou mesmo aumentam o movimento em relação a não existência de nenhuma ação. Nessa revisão, dos 288 estudos que mediram o movimento da fauna em estruturas de travessia em rodovias, apenas 16% deles abordaram essas questões. O restante dos estudos demonstrou que as estruturas de travessia permitem o movimento (isto é, os animais as utilizam). Dos dados utilizados para avaliar se as estruturas de travessia evitam a redução do movimento da fauna após a construção da rodovia, 32% mostraram que elas evitaram o declínio do movimento. Entretanto, esses resultados são restritos a ungulados e carnívoros de médio e grande porte. Dos dados avaliados para saber se as estruturas de travessia restauram o movimento aos níveis de pré-construção, foi verificada apenas restauração parcial dos níveis de movimento para mamíferos arborícolas. Dos dados utilizados para avaliar se as estruturas de travessia melhoram o movimento, 58% mostraram um aumento do movimento em relação a não existir mitigação e essa relação foi mais clara para pequenos mamíferos e mamíferos arborícolas. As conclusões desta revisão são: **para a maioria dos tipos de estruturas de travessia, há evidências de que elas promovem a travessia, mas tais evidências não são suficientes para inferir sobre aumento ou restauração de movimento, e sobre quais fatores influenciam o sucesso ou o fracasso das medidas; há um viés taxonômico, pois mamíferos é o grupo mais avaliado; e há informações insuficientes para fazer uma recomendação generalizada do efeito das estruturas de travessia no movimento dos animais.**

E o que sabemos para o Brasil?

Os estudos focados em explorar a efetividade de medidas de mitigação para conectividade se concentram em avaliar se as estruturas de travessia promovem o movimento das espécies, isto é, analisam o uso das estruturas pelos animais. No estado do Mato Grosso do Sul, foram registradas mais de 20 espécies de mamíferos utilizando passagens inferiores em uma rodovia sem a presença de cercas associadas (Abra et al., 2020). Nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Espírito Santo há trabalhos interessantes de uso de diferentes tipos de passagens de dossel pelos animais arborícolas, grupo no qual o impacto de redução de conectividade predomina (Teixeira et al., 2013; Franceschi et al., 2022; Garcia et al., 2022). O único trabalho encontrado com utilização de passagens inferiores que fez um desenho amostral antes e depois da implantação de cercas (específicas para animais pequenos) encontrou incremento no uso das passagens por répteis e aves (Rodrigues, 2022).

Saber quem usa as estruturas de travessia é um primeiro passo para entender quais estruturas permitem o movimento dos animais, mas é preciso cautela com as conclusões tiradas dessa informação!



A avaliação de uso das estruturas de travessia pela fauna ajuda a entender quais estruturas permitem o movimento, isto é, podem ser muito importantes para descobrir quais estruturas são adequadas, para quais espécies e quais características são mais importantes para a travessia segura (van der Grift e van der Ree, 2015a; Denneboom et al., 2021). Ao demonstrar o uso da travessia por um indivíduo de determinada espécie, é necessário ter clareza que essa é uma conclusão de uma efetividade individual e não pode ser utilizada para inferir a efetividade da medida de mitigação para outros objetivos, como a manutenção da conectividade da paisagem e a persistência de populações. Para espécies raras ou ameaçadas, a efetividade individual das estruturas de travessia pode alertar sobre a necessidade de estudos mais focados na espécie e no aumento/restauração do movimento dessa espécie promovido pela estrutura de travessia.

Figura 5 - Animais utilizando passagem inferior de fauna instalada sob a rodovia. A: tatu-galinha (*Dasyopus novemcinctus*); B: gato-do-mato-pequeno (*Leopardus guttulus*); C: irara (*Eira barbara*).





●●● Tomar decisões baseadas em evidências

Definir ações de mitigação e de conservação da biodiversidade baseadas em evidências é uma forma de reduzir as incertezas das estimativas não baseadas em evidências, tornando as decisões mais assertivas e efetivas.

Para saber mais sobre efetividade de ações de mitigação, o projeto "Conservation Evidence" reúne a literatura e indica a qualidade da evidência para diferentes ações e contextos. Para saber mais, acesse:
<https://www.conservationevidence.com/>

●●● A necessidade de novas soluções e do manejo adaptativo

Para a implementação de medidas de mitigação em países tropicais, os tomadores de decisão precisam buscar novas soluções, novas estruturas e *designs*, já que grande parte do conjunto de mitigações implementadas no Brasil foi adotada de modelos internacionais, principalmente de países temperados como Estados Unidos e Canadá. Por isso, torna-se fundamental a aplicação do conceito de manejo adaptativo no contexto de medidas de mitigação em rodovias, no qual são necessárias adaptações e ajustes ao longo do processo para a melhora gradativa em busca de alcançar o objetivo proposto.

●●● Como elaborar um plano de avaliação de efetividade de medidas de mitigação

O modelo conceitual a seguir apresenta as etapas decisórias para elaboração de um plano de avaliação de efetividade de medidas de mitigação. Ele sintetiza as decisões que devem ser tomadas e pressupõe que ainda não existem evidências que sustentem a não avaliação de efetividade do sistema de mitigação. Este pressuposto é algo que deve ser discutido futuramente, pois, à medida que diferentes avaliações comecem a ser replicadas para diferentes contextos será possível acumular conhecimento sobre a efetividade da mitigação e discutir quais critérios são suficientes para assumir que as medidas funcionam para o objetivo que foram planejadas.

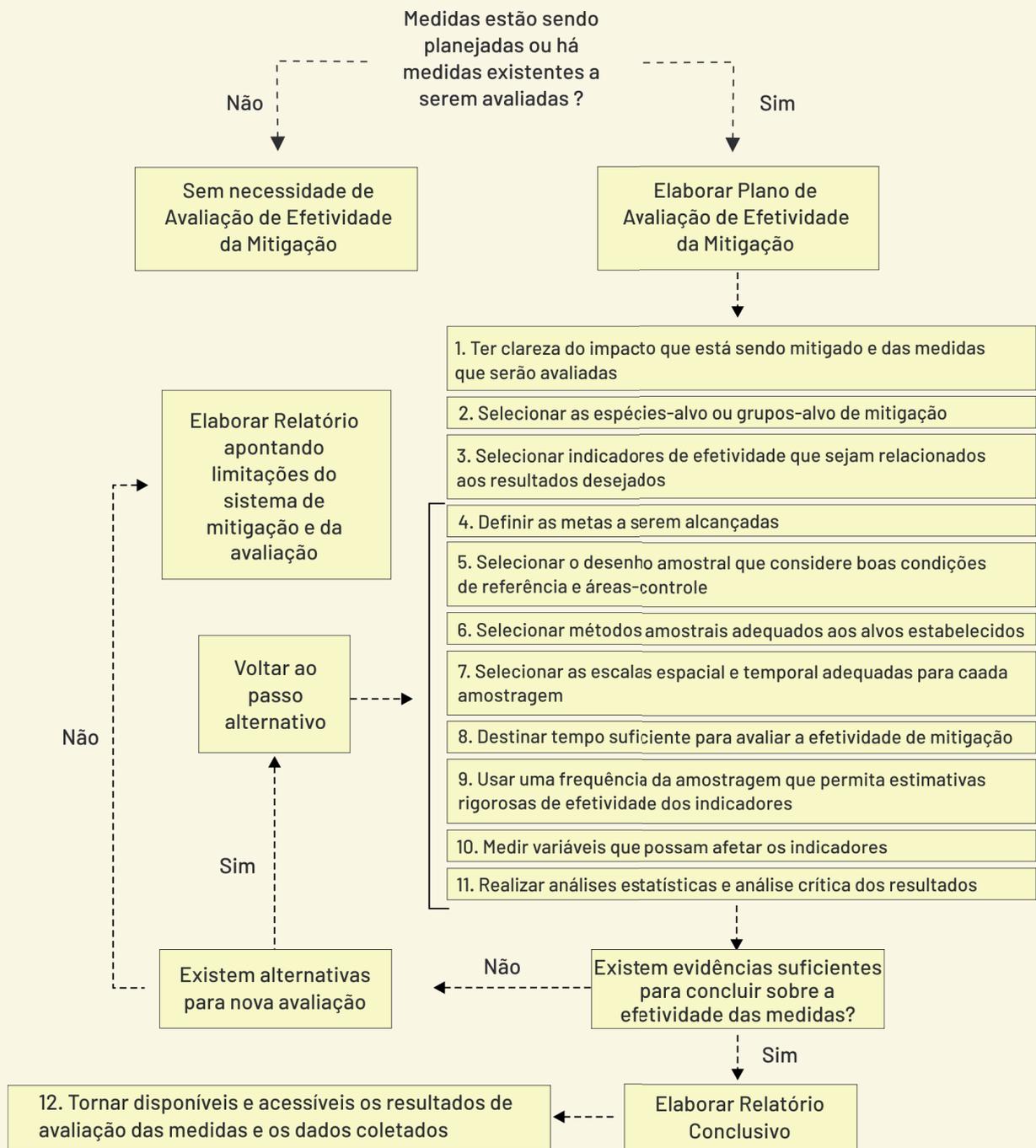


Figura 6 - Modelo conceitual com as etapas decisórias para elaboração de um plano de avaliação de efetividade de medidas de mitigação.



Visando a elaboração de um plano de avaliação de efetividade de mitigação robusto e adequado aos objetivos definidos, sugere-se seguir a sequência de etapas de 1 a 12 que foram inspiradas e adaptadas a partir do proposto por Van der Grift et al. (2013). A seguir, essas etapas são descritas mais detalhadamente e exemplos são trazidos para elucidá-las.

1 Ter clareza do impacto que está sendo mitigado e das medidas que serão avaliadas

O primeiro passo é ter clareza sobre o impacto almejado pela medida implantada. Para isso, é necessário saber qual foi o objetivo da medida de mitigação. Lembrando que uma mesma medida de mitigação pode ter sido implantada visando mais de um objetivo. O importante é que essas decisões estejam explícitas no plano de avaliação de efetividade das medidas de mitigação.

Painel 1. Exemplos de medidas e objetivos

MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	OBJETIVO
Cercamento	Reduzir as colisões entre veículos e fauna
Passagem de fauna	Manter/restaurar/aumentar a conectividade
Restrição de tráfego noturno	Reduzir as colisões entre veículos e fauna

2 Selecionar as espécies-alvo ou grupos-alvo de mitigação

O ideal é poder avaliar a efetividade de mitigação para o maior número de alvos possível, entretanto os recursos financeiros e técnicos podem ser limitados e não permitirem a completa avaliação. É necessário selecionar alvos para avaliação que podem ser desde espécies individuais até grupo de espécies. As razões de escolha também podem variar desde obrigações legais (como espécies ameaçadas) até preocupações com a segurança do usuário. Alguns critérios sugeridos para selecionar os alvos são: espécies que sejam mais afetadas pelos impactos avaliados; espécies que tenham potencial

de responder as medidas de mitigação a curto prazo; espécies que sejam facilmente amostradas e detectadas; espécies que sejam distribuídas ao longo de todo o espaço e tempo de amostragem definido (que contemplem áreas mitigadas e áreas controle).

Painel 2. Selecionar as espécies-alvo de mitigação

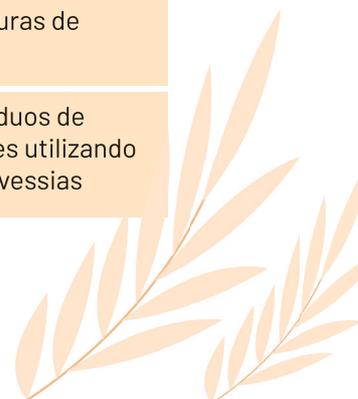
EXEMPLOS DE ALVO
Espécies com alto risco de causar acidentes graves (danos à segurança humana e danos materiais)
Grupos funcionais específicos por tipo de medidas
Espécies ameaçadas

3 Selecionar indicadores de efetividade que sejam relacionados aos resultados desejados

Os indicadores de efetividade da mitigação devem ser relacionados aos objetivos da mitigação e aos resultados desejados.

Painel 3. Exemplos de indicadores

IMPACTO	RAZÃO DA MITIGAÇÃO	INDICADOR
Colisões entre veículos e fauna	Segurança humana	Número de acidentes envolvendo animais reportados
		Valor gasto com indenizações pelas colisões entre veículos e fauna
	Conservação da biodiversidade	Número de animais mortos por colisões com veículos
		Número de animais feridos e resgatados por colisões com veículos
Redução de conectividade	Conservação da biodiversidade	Número de cruzamentos seguros pelas estruturas de travessia
		Número de espécies utilizando estruturas de travessia
		Número de indivíduos de determinadas espécies utilizando estruturas de travessias





4 Definir as metas a serem alcançadas

As metas de mitigação precisam estar claramente descritas. As metas devem incluir uma quantificação dos impactos a serem mitigados e o tempo em que os resultados devem ser alcançados. Metas de mitigação bem descritas irão facilitar as escolhas e avaliações posteriores visando um plano de monitoramento mais robusto e efetivo.

A abordagem 'SMART'² é recomendada para definição das metas, pois devem ser específicas, mensuráveis, alcançáveis, realistas e com um prazo claro.

²Sigla em inglês composta pelas palavras: *Specific, Measurable, Achievable, Realistic, e Time-based.*

Painel 4. Exemplos de metas

IMPACTO	MEDIDA	META
Colisões entre veículos e fauna	Cercamento	Reduzir em X% as colisões entre veículos e fauna em Y anos depois da instalação da medida de mitigação
Redução de Conectividade	Passagem de fauna	Restaurar em até X% o movimento dos animais entre os dois lados da via

5 Selecionar o desenho amostral que considere boas condições de referência e áreas controle

O desenho do estudo precisa considerar a comparação dos indicadores escolhidos com valores de referência. Os valores de referência podem ser temporais (com a inclusão de coletas de dados anteriores a implementação da mitigação) e espaciais (com a inclusão de áreas controles). Os desenhos amostrais possíveis para avaliar a efetividade de medidas de mitigação incluem a coleta de dados antes e depois da implementação da mitigação, nos locais onde a mitigação é instalada e em locais sem mitigação (áreas controle). A correta escolha do desenho amostral garante que as mudanças verificadas sejam atribuídas à mitigação e não a outros fatores, evitando inferências limitadas a partir dos resultados. Para avaliação de efetividade de mitigação para redução de colisões entre veículos e fauna, estudos que utilizaram desenhos 'Antes-Depois' e 'Antes-Depois-Controle-Impacto' tiveram melhores resultados que aqueles que utilizaram um desenho de 'controle-impacto' (Rytwinski et al., 2016).

Como definir as áreas controle?

Áreas controles devem ser as mais similares possíveis com as áreas mitigadas, isto é, terem características parecidas que afetam os indicadores escolhidos. Na impossibilidade dessa similaridade, é fundamental obter variáveis que possam ser relacionadas à variação dos indicadores nessas áreas (passo 10).

Quantas áreas controle são necessárias?

Recomenda-se que sejam avaliadas um número equivalente de áreas controle e mitigadas. Sempre que possível, optar por mais de uma área controle.



Painel 5. Exemplos de desenhos amostrais para cenário de rodovias em operação

CENÁRIO DE RODOVIAS EM OPERAÇÃO

1 – Implantação de novas medidas de mitigação

Exemplo 1:

- Impacto: colisões com fauna
- Objetivo: avaliar se as colisões reduziram após instalação da medida de mitigação.
- Indicador: número de colisões do grupo-alvo
- Desenho amostral: Antes-Depois-Controle-Impacto [BACI]: comparar número de colisões no mesmo segmento antes e depois da instalação da medida, incluindo a comparação com segmentos sem medidas como controle.

Exemplo 2:

- Impacto: redução de conectividade
- Objetivo: avaliar se o movimento dos animais aumentou após instalação da medida de mitigação.
- Indicador: número de cruzamentos do grupo-alvo
- Desenho amostral: Antes-Depois-Controle-Impacto [BACI]: comparar movimento no mesmo segmento antes e depois da instalação da medida, incluindo a comparação com segmentos sem medidas como controle.

2 – Avaliação de medidas já existentes

Exemplo 3:

- Impacto: colisões com fauna
- Objetivo: avaliar se as colisões reduziram devido à medida de mitigação.
- Indicador: número de colisões do grupo-alvo
- Desenho amostral: Controle-Impacto [CI]: comparar número de colisões entre segmentos com medidas mitigadoras potenciais e segmentos sem medidas potenciais;
- Alternativa de Desenho amostral: Antes-durante-depois-controle-impacto [BDACI]: comparar número de colisões no mesmo segmento antes, durante e depois de interromper a medida, incluindo a comparação com medidas sem obstrução e segmentos sem medidas como controle.

Exemplo 4:

- Impacto: redução de conectividade
- Objetivo: avaliar se o movimento dos animais aumentou devido à medida de mitigação.
- Indicador: número de cruzamentos do grupo-alvo
- Desenho amostral: Controle-Impacto [CI]: comparar movimento entre segmentos com medidas mitigadoras potenciais e segmentos sem medidas potenciais;

3 – Adequação de estruturas existentes (ex: instalação de passarela seca em obra de arte corrente)

Exemplo 5:

- Impacto: colisões com fauna
- Objetivo: avaliar se as colisões reduziram após adequação da obra de arte.
- Indicador: número de colisões do grupo-alvo
- Desenho amostral: Antes-Depois-Controle-Impacto [BACI]: comparar número de colisões no mesmo segmento antes e depois da adequação da obra de arte, incluindo a comparação com segmentos sem obras de arte e com obras de arte sem adequação como controle.

Exemplo 6:

- Impacto: redução de conectividade
- Objetivo: avaliar se o movimento dos animais aumentou após adequação da obra de arte.
- Indicador: número de cruzamentos do grupo-alvo
- Desenho amostral: Antes-Depois-Controle-Impacto [BACI]: comparar movimento no mesmo segmento antes e depois da adequação da obra de arte, incluindo a comparação com segmentos sem obras de arte e com obras de arte sem adequação como controle.

6 Selecionar métodos amostrais adequados aos alvos estabelecidos

O método amostral deve ser selecionado de acordo com o alvo da mitigação e indicadores estabelecidos. O ideal é utilizar o mesmo método amostral para os trechos mitigados e controle e para amostragens antes e depois da mitigação.

Painel 6. Exemplos de métodos

INDICADOR	EXEMPLO DE MÉTODO DE AMOSTRAGEM
Número de colisões com fauna reportadas que envolvam vítimas humanas e/ou danos materiais	Análise de bancos de dados existentes
Número de animais mortos por colisões com veículos	Busca ativa de carcaças na rodovia
Número de cruzamentos seguros pelas estruturas de travessia	Armadilhas fotográficas Armadilhas de pegada Ciência-cidadã Pit tags Rádio colar

7 Selecionar as escalas espacial e temporal adequadas para cada amostragem

A escala espacial para coleta de dados deve corresponder à escala espacial do efeito da mitigação avaliada e dos indicadores escolhidos. Atenção deve ser dada, por exemplo, ao tamanho do trecho selecionado para comparação e a capacidade de deslocamento do grupo-alvo. Caso a definição de tamanho de trecho não seja clara, testar diferentes tamanhos pode ser uma boa opção. Ainda, sempre que possível, obter o maior número de réplicas de trechos mitigados e controles.

A escala temporal para coleta de dados deve atentar para períodos em que se espera a resposta desejada e para o ciclo de vida das espécies-alvo da avaliação. Por exemplo, para animais migrantes ou para animais com grande variação na atividade reprodutiva, a amostragem pode acontecer em momentos esperados de maior deslocamento ou maior atividade, respectivamente.



Painel 7. Exemplos de falhas na escolha das escalas para amostragem

FALHA NA ESCOLHA DA ESCALA ESPACIAL	FALHA NA ESCOLHA DA ESCALA TEMPORAL
O tamanho de trecho escolhido para avaliação de efetividade da mitigação é alterado após a implantação da medida, o que inviabiliza a comparação entre antes e depois.	As amostragens são realizadas em períodos em que não se espera atividade do grupo-alvo.

8 Destinar tempo suficiente para avaliar a efetividade da mitigação

A duração da avaliação de efetividade está diretamente ligada ao indicador escolhido e as características dos grupos-alvo. A duração definida deve ser suficiente para fazer análises estatísticas robustas para determinar se a mitigação resulta em uma mudança significativa no indicador escolhido. A literatura recomenda um mínimo de quatro anos para estudos com desenhos amostrais 'Antes-Depois' e um mínimo de quatro anos e quatro áreas avaliadas para estudos com desenhos amostrais 'Antes-Depois-Controlle-Impacto' (Rytwinski et al., 2016). É importante salientar que quanto maior o número de amostragens antes e depois da implantação da mitigação (tanto nas áreas controle quando mitigadas), melhor será a inferência sobre a efetividade da ação. Essa duração deve estar alinhada à meta definida no passo 4.

9 Usar uma frequência de amostragem que permita estimativas rigorosas de efetividade dos indicadores

A frequência das amostragens de avaliação da efetividade também está diretamente ligada ao indicador escolhido e as características dos grupos-alvo. Por exemplo, a amostragem de animais atropelados uma vez por mês não é suficiente para poder gerar resultados confiáveis de estimativas de número de animais atropelados mensalmente. Estudos piloto são bons aliados quando não há informação prévia para definir a frequência necessária.

10 Medir variáveis que possam afetar os indicadores

Outras variáveis além dos indicadores de interesse também devem ser medidas para melhorar a interpretação dos resultados. A obtenção de variáveis explicativas permitirá inferências mais fortes sobre as causas de diferenças. A escolha dessas variáveis deve ser acompanhada da expectativa da relação entre as variáveis e o indicador avaliado. Por exemplo, se há expectativa de que o tráfego de veículos pode variar muito entre áreas mitigadas e controle e pode afetar os atropelamentos, esse é um fator muito importante de ser levantado se o indicador escolhido for número de colisões com fauna.

Painel 10. Exemplos de variáveis

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À	VARIÁVEIS
Rodovia	Largura da via Volume de tráfego Velocidade operacional da via Presença ou tipo e pavimento Presença ou tipo de acostamento Presença de cercas Presença de luz artificial
Estrutura de mitigação	Tipo e dimensão da estrutura Tipo e frequência de manejo (manutenção) Tipo de substrato Presença de enriquecimento Presença de água Presença e frequência de uso por animais que não alvos (incluindo humanos e animais domésticos)
Paisagem do entorno	Topografia Uso da terra Tipo e quantidade de cobertura da terra Tipo e quantidade de habitat potencial da espécie-alvo ou grupo-alvo
Condições meteorológicas	Precipitação Temperatura





11 Realizar análises estatísticas e análise crítica dos resultados

É muito importante que a coleta de dados e as preocupações elencadas acima sejam seguidas da realização de análises estatísticas robustas que permitam a comparação entre os diferentes momentos de amostragem (antes e depois) e os diferentes locais (mitigados e controles). O tradicional interesse em uma análise com desenho amostral Antes-Depois-Controle-Impacto é avaliar a interação entre os fatores (Antes-Depois×Controle-Impacto), que será significativa quando ocorrer uma mudança no local mitigado, mas não no local do controle (Underwood, 1991). Sempre que possível a análise deve considerar as variáveis levantadas e sua influência nos resultados. É muito importante que as análises forneçam o poder de evidência dos resultados encontrados e o grau de incerteza associado. Por fim, é necessário fazer uma análise crítica dos resultados para inferir as conclusões da avaliação.

Painel 11. Exemplos de análises estatísticas utilizadas para diferentes desenhos amostrais e a fonte da informação

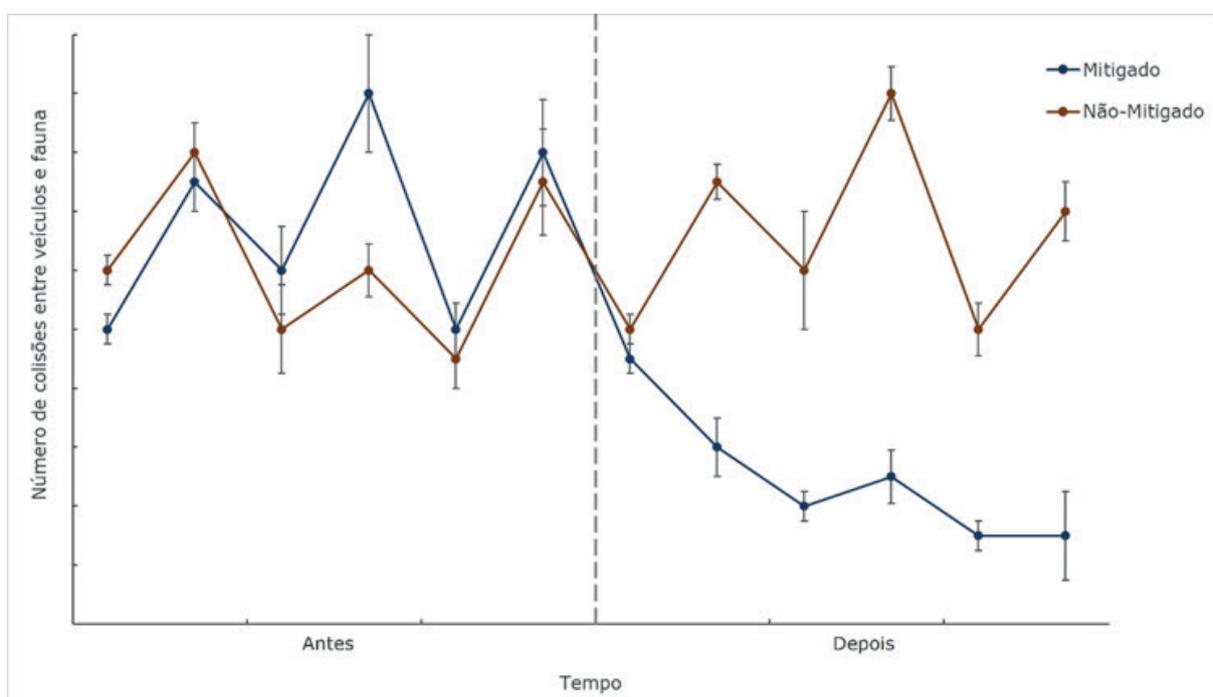
DESENHO AMOSTRAL	ABORDAGEM ESTATÍSTICA	FONTE
Antes-Depois-Controle-Impacto	Análise de variância (ANOVA) com dois fatores: utilizar os períodos Antes-Depois como um fator e as áreas Controle-Impacto como outro fator. O interesse é avaliar se existe interação significativa entre os fatores.	Underwood (1991)
Antes-Depois-Controle-Impacto com áreas mitigadas e controle pareadas	Diferentes modelos (linear, assintótico, sigmoide ou com mudança brusca) para avaliar se há mudança antes e depois. O modelo utiliza as diferenças dos indicadores de interesse entre as áreas mitigadas e controles par-a-par.	Thiault et al. (2017)
Antes-Depois-Controle-Impacto com uma área mitigada e várias áreas-controle	Modelos Lineares Generalizados Mistos que possibilitam a inclusão de efeitos aleatórios ao modelo.	Pardini et al. (2018)

OBS: os exemplos servem para ilustrar alternativas possíveis em cada caso, mas não são as únicas opções possíveis. Sugere-se a revisão na literatura de outras possibilidades analíticas. Os trabalhos citados empregam as abordagens para contextos diferentes de avaliação de impacto ambiental, entretanto as abordagens analíticas utilizadas podem ser aplicadas no contexto deste guia.

12 Tornar disponíveis e acessíveis os resultados de avaliação das medidas e os dados coletados

A disponibilização e acessibilidade dos métodos e resultados da avaliação ajudará a garantir que futuros projetos de mitigação em rodovias possam ser ajustados devido ao conhecimento adquirido em estudos prévios. A adoção desta boa prática permite o aprendizado contínuo, a retroalimentação das práticas ligadas à avaliação de efetividade e a qualificação da tomada de decisão.

Painel 12. Exemplo de resultados esperados para conclusão de efetividade das medidas de mitigação para reduzir colisões com fauna





Considerações finais

O guia aqui apresentado traz as evidências que temos na literatura até o momento e orientações sobre como elaborar um plano de avaliação de efetividade de medidas de mitigação em rodovias. Espera-se que, a partir da utilização dos passos aqui propostos, seja possível alcançar conclusões mais assertivas sobre a efetividade das medidas de mitigação que vem sendo implantadas em todo o Brasil. É importante destacar que quando não forem alcançados os resultados esperados, deve-se identificar se há alternativas para uma nova avaliação de efetividade. Ainda, sempre que não houver alternativas ou que não houver evidências de efetividade, é necessário reconhecer as limitações do sistema de mitigação e da avaliação realizada.

Para saber mais

Abra, F. D., Granziera, B. M., Huijser, M. P., Paschoaletto, M., Barros, M. De, Haddad, C. M., et al. (2019). Pay or prevent? Human safety, costs to society and legal perspectives on animal- vehicle collisions in São Paulo state, Brazil. *PLoS One*, 1-22. doi: 10.1371/journal.pone.0215152.

Abra, F. D., Canena, A. da C., Garbino, G. S. T., and Medici, E. P. (2020). Use of unfenced highway underpasses by lowland tapirs and other medium and large mammals in central-western Brazil. *Perspect Ecol Conserv* 18, 247-256. doi: 10.1016/j.pecon.2020.10.006.

Abra, F. D., Huijser, M. P., Magioli, M., Bovo, A. A. A., and Ferraz, K. M. P. M. de B. (2021). An estimate of wild mammal roadkill in São Paulo state, Brazil. *Heliyon* 7, e06015. doi: 10.1016/J.HELIYON.2021.E06015.

Ascensão, F., Yogui, D. R., Alves, M. H., Alves, A. C., Abra, F., and Desbiez, A. L. J. (2021). Preventing wildlife roadkill can offset mitigation investments in short-medium term. *Biol Conserv* 253. doi: 10.1016/j.biocon.2020.108902.

Denneboom, D., Bar-Massada, A., Shwartz, A. (2021) Factors affecting usage of crossing structures by wildlife – a systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ* 777:146061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146061>.

Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., and Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science* (1979) 345. doi: 10.1126/science.1251817.

Fahrig, L., and Rytwinski, T. (2009). Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. *Ecology and Society* 14, 21. <https://www.jstor.org/stable/26268057>.

Franceschi, I. C., Dasoler, B. T., Menger, T., Kindel, A., Almeida Da Silva, F., Gonçalves Leonardo, J. C., et al. (2022). Monitoring the use of a canopy bridge and underpasses by arboreal mammals on a Brazilian coastal road. *Folia Primatologica*. doi: 10.1163/14219980-20211202.

Garcia, F. de O., Culot, L., de Carvalho, R. E. W. F., and Rocha, V. J. (2022). Functionality of two canopy bridge designs: successful trials for the endangered black lion tamarin and other arboreal species. *Eur J Wildl Res* 68. doi: 10.1007/s10344-022-01569-8.

González-Suárez, M., Zanchetta Ferreira, F., and Grilo, C. (2018). Spatial and species-level predictions of road mortality risk using trait data. *Global Ecology and Biogeography* 27, 1093–1105. doi: 10.1111/GEB.12769.

Heiermann, D. (2021) Cercas direcionadoras funcionam para evitar que anfíbios arborícolas cruzem rodovias? Trabalho de conclusão do Curso de graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pardini, E.A., Parsons, L.S., Ştefan, V. and Knight, T.M. (2018), GLMM BACI environmental impact analysis shows coastal dune restoration reduces seed predation on an endangered plant. *Restor Ecol*, 26: 1190–1194. <https://doi.org/10.1111/rec.12678>.

Roedenbeck, I. A., Fahrig, L., Findlay, C. S. et al (2007) The Rauschholzhausen agenda for road ecology. *Ecol Soc* 12(1): 11. <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art11/>

Rodrigues, B. R. (2022) Por que o Teiú atravessou a rua: Avaliando o impacto de medidas de mitigação para atropelamentos de anfíbios em outros grupos de vertebrados. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rytwinski, T., Soanes, K., Jaeger, J. A. G. et al (2016) How effective is road mitigation at reducing roadkill? A meta-analysis. *PLoS One* 11:1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166941>.

Teixeira, F. Z., Printes, R. C., Fagundes, J. C. G., Alonso, A. C., and Kindel, A. (2013). Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes. *Biota Neotrop* 13, 117–123.

Teixeira, F. Z., Rytwinski, T., Fahrig, L. (2020) Inference in road ecology research: What we know versus what we think we know. *Biol Lett* 16:20200140. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0140>.

Thiault, L., Kernaléguen, L., Osenberg, C.W. and Claudet, J. (2017), Progressive-Change BACIPS: a flexible approach for environmental impact assessment. *Methods Ecol Evol*, 8: 288–296. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12655>.





van der Grift, E.A. and van der Ree, R. (2015a). Guidelines for Evaluating Use of Wildlife Crossing Structures (Chapter 15). In: Handbook of Road Ecology (eds R. van der Ree, D.J. Smith and C. Grilo), pp 119–128. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch15>.

van der Grift, E. A., van der Ree, R., Fahrig, L. et al (2013) Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodivers Conserv* 22:425–448. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0421-0>.

van der Grift, E. A, van der Ree, R., Jaeger, J. A. G. (2015) Guidelines for Evaluating the Effectiveness of Road Mitigation Measures (Chapter 16). In: Handbook of Road Ecology (eds R. van der Ree, D.J. Smith and C. Grilo), pp 129–137. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch16>.

Underwood A. J. (1991) Beyond BACI: Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Marine and Freshwater Research* 42, 569–587. <https://doi.org/10.1071/MF9910569>.

Outros documentos que inspiraram a elaboração deste guia

van der Grift, E. A., Seiler, A., Rosell, C., Simeonova, V. (2016) Safe roads for Wildlife and People – Final Report of the SAFEROAD project. CEDR, Bruxelas, Bélgica.

O'Brien, E., van der Grift, E., Elmeros, M., Wilson-Parr, R., Carey, C. (2018) Call 2013: Roads and Wildlife – The Roads and Wildlife Manual. CEDR Contractor Report 2018–3, Bruxelas, Bélgica.

NERF/UFRGS (2019) Protocolo de monitoramento da efetividade de medidas mitigadoras em empreendimentos ferroviários – Processo SEI-IBAMA n.02001.006341/2015-07.

Autores

Larissa Oliveira Gonçalves

larissa.oligon@gmail.com

Bióloga, mestra e doutora em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). É pesquisadora vinculada ao Programa USP Sustentabilidade (USPsusten) da Superintendência de Gestão Ambiental da Universidade de São Paulo e ao Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação de Fauna Silvestre do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). É colaboradora do Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias da UFRGS. Trabalha com avaliação dos impactos causados pelas infraestruturas lineares sobre a fauna e as formas de mitigá-los, bem como a organização de workshops multissetoriais e transdisciplinares para elaboração de protocolos metodológicos e analíticos que subsidiem políticas públicas.

Thales Andrés Carra

tcarra@sp.gov.br

Engenheiro Ambiental e Mestre em Geologia, ambos pela Universidade Estadual Paulista - Unesp. É analista ambiental da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb, atuando com Avaliação de Impacto Ambiental e com Gestão Corporativa.

Fernanda Abra

fernanda@viafauna.com/abrafa@si.edu

Bióloga, doutora em Ecologia Aplicada pela Universidade de São Paulo e atualmente é pesquisadora pós doutoral do Centro de Conservação e Sustentabilidade do Smithsonian (Washington DC, Estados Unidos). É sócia-fundadora da ViaFAUNA, pesquisadora principal no Projeto Reconecta na Amazônia e coordena as ações de impactos de transportes dos Planos de Ação Nacional do ICMBio de Canídeos e Ungulados ameaçados de extinção. Possui interesse em padrões espaço-temporais de colisões de fauna em rodovias e ferrovias, extensões destes impactos na conservação de mamíferos e segurança do tráfego, bem como implementação e efetividade de medidas de mitigação.

Juliana Moreno Pina

jpina@sp.gov.br

Bióloga pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, doutora em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pelo Instituto de Botânica de São Paulo. Está como bióloga da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, trabalhando no Setor de Aprimoramento de Práticas do Licenciamento com o licenciamento de empreendimentos por meio da avaliação de impacto ambiental.

Vanessa Suzana Cavaglieri

vcavaglieri@sp.gov.br

Engenheira Florestal pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Desde 2011, atua na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB com licenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários, principalmente nos impactos referentes ao meio biótico: fauna e flora. Realiza o acompanhamento da implantação e operação de obras rodoviárias no estado de São Paulo, com foco nas questões referentes as medidas mitigadoras aos impactos sobre a vegetação e a fauna.



Ana Luisa Tondin Mengardo

amengardo@sp.gov.br.

Bióloga e mestre em Ecologia pela Universidade de São Paulo. Está como bióloga da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, trabalhando no Setor de Licenciamento de Empreendimentos de Transporte Rodoviário.

Camilo Fragoso Giorgi

cgiorgi@sp.gov.br

Engenheiro Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Está como analista ambiental da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, trabalhando na Divisão de Licenciamento de Empreendimentos de Transportes.

Luna Barreto Bernstein

lbernstein@sp.gov.br.

Bióloga pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e especialista em Análise Ambiental e Gestão de Território. Está como bióloga da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, trabalhando no Setor de Licenciamento de Empreendimentos de Transporte Não-Rodoviários.

Renata Ramos Mendonça

rrmendonca@sp.gov.br

Bióloga pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo e mestre em Geografia Humana pela Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Trabalhou no Projeto de Recuperação da Serra do Mar em Cubatão, SP, na equipe de coordenação do Programa Estadual para Conservação da Biodiversidade/PROBIO-SP da Secretaria do Meio Ambiente – SMA, em projetos de desenvolvimento de políticas públicas para conservação da biodiversidade, no Departamento Estadual de Proteção aos Recursos Naturais/DEPRN, atuando no licenciamento sobre as questões florestais. Atualmente é assessora da Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, atuando no licenciamento ambiental, em especial nas questões florestais.

Katia Maria P. M. de Barros Ferraz

katia.ferraz@usp.br

Bióloga pela Universidade Estadual Paulista, mestre em Psicologia Experimental pela Universidade de São Paulo e doutora em Ecologia pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). É professora e pesquisadora do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP e coordena o Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação de Fauna Silvestre (LEMaC). Participa como orientadora dos Programas de Pós-Graduação em Recursos Florestais (PPGRF) e Ecologia Aplicada (PPGI-EA). É membro do Conservation Planning Specialist Group (CPSG Brasil) da IUCN. Trabalha com ecologia animal aplicada, manejo de fauna silvestre, conservação da biodiversidade, coexistência humano-fauna, co-produção e transdisciplinaridade.

USP

