

CAPÍTULO 2

ECOLOGIA DE ESTRADAS: COMO APLICAR CIÊNCIA À GESTÃO AMBIENTAL

DOI: [http:// dx.doi.org/10.18616/plansus02](http://dx.doi.org/10.18616/plansus02)

Fernanda Zimmermann Teixeira

Larissa Oliveira Gonçalves

VOLTAR AO SUMÁRIO

POR QUE SE PREOCUPAR COM AS ESTRADAS?

A construção e a operação de estradas trazem uma série de ameaças à biodiversidade, pois impactam ambientes aquáticos e terrestres de várias maneiras (FORMAN *et al.*, 2003; TROMBULAK; FRISSELL, 2000). Alguns dos principais impactos são a perda e a degradação de *habitat* decorrentes de todas as modificações causadas no ambiente, a redução da conectividade da paisagem e a mortalidade direta por atropelamento (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015) (Figura 1). Por exemplo, a construção de estradas pode ser considerada o principal fator direcionador de desmatamento e alteração no uso do solo na Amazônia (LAURANCE *et al.*, 2002), com a maior parte do desmatamento ocorrendo em até 5,5 km de rodovias (BARBER *et al.*, 2014). Além disso, diversos estudos identificaram que a abundância e a ocorrência de várias populações de animais diminuem em áreas próximas às estradas, com evidências de reduzida abundância de aves até 1 (um) km de distância de estradas e de reduzida abundância de mamíferos até 5 (cinco) km de distância de estradas (BENÍTEZ-LÓPEZ; ALKEMADE; VERWEIJ, 2010).

Figura 1 - Potenciais impactos da instalação e operação de empreendimentos viários



Fonte: Elaboração própria das autoras (2019).

Percebem-se potenciais impactos da instalação e da operação de empreendimentos viários já quando são apresentadas as atividades relacionadas a cada fase, que terão efeitos sobre as populações de animais silvestres. Atividades possíveis do empreendimento, por exemplo, ocorrem na construção – por meio da abertura de acessos, da supressão da vegetação, da limpeza, da terraplanagem, dos cortes, aterros e bota-foras, dos canteiros de obras e das estruturas de apoio – e na operação – por meio da manutenção da faixa de domínio e do tráfego de veículos, que atuam como principais fatores dos impactos.

A degradação do *habitat* engloba todas as modificações das condições anteriores à construção ou operação da via. A mudança nos padrões de sedimentação e nos próprios cursos d'água causam sérios efeitos negativos na dinâmica e composição das comunidades aquáticas (OTTBURG; BLANK, 2015; WAGNER, 2015). A poluição tanto química quanto sonora é um fator preocupante para a conservação da biodiversidade em áreas adjacentes às estradas (EGEA-SERRANO *et al.*, 2012; KOCIOLEK *et al.*, 2011; PARRIS, 2015). Para populações de animais silvestres, esses efeitos podem gerar mudanças no comportamento, nos padrões de deslocamento e até mesmo na área de vida desses animais (*e.g.* CHEN; KOPROWSKI, 2016; STEYAERT; ZEDROSSER; ROSELL, 2015). Por exemplo, a poluição sonora pode afetar o comportamento de canto dos anuros, cuja intensidade do ruído é um fator importante para determinar a resposta das espécies (*e.g.* CAORSI; BOTH; CECHIN, 2017; WARE *et al.*, 2015). Além disso, o tráfego de veículos em estradas pode aumentar a dispersão de espécies exóticas e invasoras (*e.g.* BROWN *et al.*, 2006; MORTENSEN *et al.*, 2009). Em função desses diferentes efeitos relacionados à degradação do *habitat* no entorno de estradas, convencionou-se chamar a área do entorno desses empreendimentos onde tais efeitos estão presentes de zona de efeito de estradas (FORMAN; DEBLINGER, 2000).

A conectividade da paisagem é alterada com a construção e operação de uma estrada e pode ter efeitos negativos em diferentes níveis, desde uma pequena mudança no deslocamento dos animais até a total barreira ao movimento das espécies. A redução da conectividade pode impedir que indivíduos

tenham acesso a recursos importantes para a sua sobrevivência ou, ainda, impedir que indivíduos migrem colonizando novas áreas. Esses efeitos causam a redução da diversidade genética das populações (EPPS *et al.*, 2005) e podem levar ao isolamento de populações silvestres (BALKENHOL *et al.*, 2014).

Ações antropogênicas são responsáveis por mais de um quarto da mortalidade de vertebrados terrestres no mundo, e as colisões com veículos são algumas de suas principais causas (HILL; DEVAULT; BELANT, 2019). Alguns trabalhos com simulações demonstram que a mortalidade por atropelamento é o impacto de estradas com maior potencial de afetar as populações, pois reduz a abundância e a diversidade genética, diminuindo a persistência das populações (ASCENSÃO *et al.*, 2013; JACKSON; FAHRIG, 2011; JAEGER; FAHRIG, 2004). Publicações com estimativas da magnitude da mortalidade por atropelamento existem para algumas regiões, como Estados Unidos, Canadá, Suécia e Europa, com valores que variam de milhares a vários milhões de animais por ano (BISHOP; BROGAN, 2013; ERRITZOE; MAZGAJSKI; REJT, 2003; LOSS; WILL; MARRA, 2014; SEILER; HELLDIN, 2006). Apesar da mortalidade por colisão com veículos ser o impacto direto mais visível das estradas, ainda se sabe pouco sobre qual é de fato a magnitude dessa mortalidade, uma vez que as estimativas são baseadas apenas na contagem de carcaças, sem considerar a sua detecção, que é influenciada pela eficiência do método de amostragem e pelo tempo de persistência das carcaças nas estradas (TEIXEIRA *et al.*, 2013).

Estradas podem impactar indivíduos, populações, comunidades ou ecossistemas inteiros (CLEVINGER, 2005). Além disso, o impacto em um nível de organização pode gerar um efeito em cascata em outros níveis. Um exemplo disso é o impacto de atropelamento em nível individual, que pode comprometer a persistência ou a diminuição da abundância de uma população de presa, o que pode afetar a comunidade como um todo, gerando diminuição na abundância do predador por falta de presas. Ainda, alterações na abundância e composição de espécies de uma comunidade podem gerar mudanças nos fluxos de energia e matéria de um ecossistema. Dessa forma, comunidades e ecossistemas inteiros podem ser transformados pela construção e operação de uma estrada (CLEVINGER, 2005; PLANILLO *et al.*, 2018).

Redes de estradas estão espalhadas por quase todos os continentes (LAURANCE *et al.*, 2014), com mais de 36 milhões de quilômetros de estradas mapeados mundialmente até 2013 (IBISCH *et al.*, 2016). O Brasil conta com 1.563,6 mil quilômetros de malha rodoviária, o principal sistema de transporte do País, sendo 94,7% rodovias estaduais e municipais e 5,3% federais (76,5 mil quilômetros) (BRASIL, 2017). Além de toda a malha rodoviária existente no mundo, existe uma previsão de 25 milhões de quilômetros de novas rodovias pavimentadas globalmente até 2050 (ALAMGIR *et al.*, 2017). Essas previsões de expansão indicam o quanto é importante se preocupar em conhecer os impactos de estradas e como mitigá-los.

COMO PODEMOS REDUZIR OS IMPACTOS DAS ESTRADAS?

Para reduzir o impacto de estradas na fauna, é preciso atuar em diferentes etapas do planejamento, da construção e da operação de uma estrada. O ideal é que haja o envolvimento de profissionais da área ambiental em todas as etapas, desde o início do planejamento, pois, dessa forma, é possível antecipar muitas ações e medidas e reduzir custos (ROBERTS; SJÖLUND, 2015). A possibilidade de intervenções a serem realizadas varia de acordo com a etapa do projeto do empreendimento. Desse modo, é fundamental que se tenha clareza das contribuições possíveis e das decisões disponíveis em cada etapa.

O planejamento da construção de uma via tem início a partir da determinação, por parte do governo, de quais são as vias planejadas de interesse para o Estado. Em nível nacional, isso é oficializado por meio de políticas nacionais de transporte, estando em vigor, atualmente, o Sistema Nacional de Viação (SNV), instituído em 2011, mas baseado no Plano Nacional de Viação publicado em 1973 (BRASIL, 1973, 2011). O SNV trata das vias de transporte existentes e determina quais o governo federal planeja implementar no futuro. Infelizmente, até hoje, esses instrumentos não incorporaram elementos relacionados à política ambiental nacional, havendo, em alguns casos, conflitos severos entre o que é planejado pelo Ministério de Infraestrutura e o que é exi-

gado pela legislação ambiental brasileira (TISLER, 2019). Uma das causas dessa dissonância é o fato de o Sistema Nacional de Viação ser baseado no Plano Nacional de Logística, que foi criado antes da elaboração da Política Nacional de Meio Ambiente e da maior parte da legislação ambiental brasileira, e de haver pouca comunicação entre as políticas elaboradas pelos ministérios em nível federal.

Após essa decisão no nível da rede viária, antes de cada estrada ser individualmente construída, uma série de etapas deve ser cumprida. O Ministério de Infraestrutura, por meio de suas agências – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e Empresa de Planejamento e Logística (EPL) –, primeiro elabora um Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), que tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica, ambiental, econômica e jurídica de cada estrada proposta para subsidiar a decisão, ou seja, se o Ministério investirá ou não na construção da estrada e qual o traçado a ser encaminhado para a concessão privada e o licenciamento ambiental (NÓBREGA *et al.*, 2016). Após decidir se um empreendimento individual será uma prioridade do governo, deverá ser dado início à solicitação de licença ambiental para que o governo possa, então, elaborar o projeto de engenharia e construir o empreendimento.

O processo de licenciamento é dividido em três etapas: licença prévia (LP), que atesta a viabilidade ambiental do empreendimento; licença de instalação (LI), a qual autoriza o início das obras; e licença de operação (LO), que autoriza o início da operação da estrada (CONAMA, 1997). Essas licenças são emitidas pelo órgão ambiental competente (federal, estadual ou municipal) a partir da aprovação dos estudos ambientais de avaliação de impacto elaborados pelos especialistas contratados pelo empreendedor. Juntamente com essas licenças são emitidas condicionantes, as quais são condições que o empreendedor deverá cumprir para minimizar os impactos ambientais do empreendimento, mas que se não foram cumpridas poderão fazer com que a licença perca a sua validade.

Ainda, para as estradas que foram construídas sem licenciamento ambiental, é necessário fazer a sua regularização ambiental. Esse é o caso da

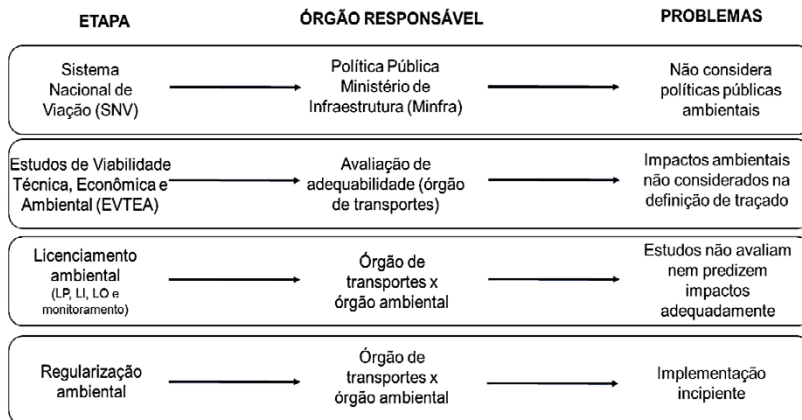
maior parte da malha brasileira, pois cerca de 60% da rede viária foi construída antes de 1986 (DORNAS *et al.*, 2012), ano a partir do qual foi implementada a exigência de licenciamento ambiental. A regularização de estradas também é baseada em estudos do passivo ambiental gerado e do planejamento de medidas para mitigar o passivo já existente. Uma das políticas existentes para a regularização de estradas é o Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis (PROFAS), que prevê a regularização de 55.000 km de rodovias até 2033 (BRASIL, 2013).

Atualmente, há alguns problemas que deveriam ser abordados ao longo dessas etapas de planejamento de uma estrada para que a eficiência do planejamento das medidas e das ações para mitigar os impactos seja alcançada. Primeiro, as políticas de transporte voltadas para toda a rede viária são elaboradas sem considerar as políticas ambientais vigentes e, muitas vezes, são conflitantes (TISLER, 2019). Em segundo lugar, os EVTEAs elaborados pelos órgãos de transportes pecam em não incorporar variáveis ambientais adequadas na avaliação das prioridades de governo e na definição do traçado (TISLER, 2019). Em geral, nesses estudos, é considerada apenas a presença de áreas protegidas ao longo do traçado proposto e não uma avaliação adequada da viabilidade ambiental. Por fim, os estudos ambientais apresentados no processo de licenciamento, em geral, possuem baixa qualidade e efetividade, com as informações apresentadas tendo pouca relevância para a tomada de decisão sobre os impactos a serem esperados e mitigados com o empreendimento (FREITAS *et al.*, 2017; STOKES, 2015).

Uma análise dos estudos de impacto ambiental (EIAs) elaborados para a solicitação de licença prévia de 10 rodovias brasileiras aponta que os EIAs ainda têm muito o que melhorar (FREITAS *et al.*, 2017). Os estudos avaliados não abordaram vários dos impactos potenciais já conhecidos para rodovias e, quando os mencionaram, as avaliações se apresentaram superficiais, sem a inclusão de uma avaliação e da predição desses impactos que permitissem a tomada de decisão baseada em evidências (FREITAS *et al.*, 2017). Essa avaliação aponta que há uma falta de qualidade e efetividade nos estudos, ou seja, faltam informações importantes que deveriam estar nos estudos (quali-

dade dos dados), além disso, as apresentadas não são adequadas para a tomada de decisão (baixa efetividade na aplicação do conhecimento para tomada de decisão) (LAWRENCE, 1997).

Figura 2 - Etapas para consideração dos impactos ambientais e seus problemas



Fonte: Elaborada pelas autoras (2019).

COMO QUALIFICAR A TOMADA DE DECISÃO?

Para que os impactos ambientais da construção e operação de uma estrada sejam minimizados, três mudanças são fundamentais. A primeira é que as questões ambientais deveriam ser consideradas em todas as etapas do processo de tomada de decisão, planejamento, construção e operação de uma estrada (ROBERTS; SJÖLUND, 2015). A segunda é que em cada uma dessas etapas é preciso atuar sobre as decisões disponíveis. A terceira é que é preciso sempre seguir a hierarquia da mitigação no momento de tomar decisões sobre como amenizar os impactos de estradas.

Ao considerar as questões ambientais em todas as etapas do processo de decisão, é possível incorporar soluções de mitigação antecipadamente à ocorrência de um impacto, tornando a implementação das medidas muito mais fácil e mais barata. Dessa forma, os valores investidos em mitigação

passam a ser considerados dentro do planejamento financeiro da construção da estrada e não surgem como custos adicionais não previstos inicialmente. Medidas planejadas desde o início são mais baratas de serem implementadas, pois passam a ser pequenas alterações e adaptações durante a construção da estrada em comparação a uma obra isolada para a instalação de uma medida mitigadora quando a estrada já está operando (VAN DER REE; TONJES; WELLER, 2015).

Em cada uma das etapas, existem decisões diferentes que estão disponíveis para serem tomadas a fim de mitigar o impacto de estradas. Por exemplo, na etapa em que o governo faz o planejamento de quais são as estradas prioritárias a serem construídas e qual o traçado de cada uma delas, é possível identificar estradas que não deveriam ser construídas porque os prejuízos ambientais e sociais serão maiores que os ganhos para a sociedade (FLECK, 2009; BORASINO *et al.*, 2010; MALKY *et al.*, 2011).

Uma avaliação estratégica das políticas de expansão da malha viária deveria ser feita para identificar áreas nas quais os custos ambientais de construção de uma estrada são altos e seus benefícios socioeconômicos são baixos ao mesmo tempo que seriam identificadas estradas com custos ambientais baixos e grandes benefícios para a sociedade (LAURANCE, 2015). Já durante a elaboração do projeto de engenharia para a construção de uma estrada, as decisões disponíveis estão associadas a alterações de projeto que podem mitigar impactos, como a utilização de materiais menos poluentes, menor intervenção em cursos d'água e a construção de pontes e dutos de drenagem já adaptados para a passagem de fauna terrícola e aquática.

Por fim, quando a estrada já está construída e em operação, as decisões disponíveis estão relacionadas à instalação de medidas pontuais ou adequação de obras de arte existentes. Mesmo que todas as decisões das etapas anteriores tenham sido bem implementadas, o monitoramento posterior dos impactos da estrada pode indicar que adequações são necessárias, seja porque as medidas mitigadoras não estão tendo a efetividade almejada, seja porque novos impactos foram identificados (VAN DER REE *et al.*, 2015). Porém, esse contexto de adequações posteriores também ocorre no caso da regulariza-

ção de estradas que não passaram pelo processo de licenciamento ambiental anteriormente à construção. Nesses casos, durante a operação da estrada, é preciso fazer uma avaliação dos passivos ambientais existentes e implementar modificações para que os impactos causados pela estrada sejam mitigados. O Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis, citado anteriormente, encaixa-se nessa etapa.

A terceira mudança importante que deve ocorrer para qualificar a tomada de decisão é seguir a hierarquia da mitigação, a qual é um princípio que deveria ser sempre seguido na avaliação de impactos ambientais. Isso significa que deve ser avaliado primeiro se é possível evitar; depois, minimizar; em seguida, restaurar os impactos residuais para então, por fim, compensar os impactos que não foram contemplados nas etapas anteriores (CHEE, 2015).

A hierarquia da mitigação se baseia na lógica de almejar não ter perda ambiental líquida com um empreendimento, ou seja, que todos os impactos identificados sejam completamente mitigados e os que não puderem ser evitados, minimizados ou alvo de restauração sejam compensados. Por exemplo, antes da construção de uma estrada, a etapa de planejamento é o melhor momento para se tentar evitar impactos. Para tanto, podem-se fazer alterações no traçado que evitem áreas ambientalmente sensíveis ou que causarão grandes impactos ambientais. A comparação prévia do traçado planejado com a existência de áreas protegidas, áreas prioritárias para a conservação, áreas com remanescentes importantes de vegetação ou áreas com espécies sensíveis à presença de estradas pode indicar que alterações no traçado são necessárias para evitar grandes impactos.

Pensando na segunda etapa da hierarquia da mitigação, deve-se almejar minimizar impactos que não podem ser evitados. Por exemplo, a construção de uma estrada em geral cruza com alguns corpos d'água, uma vez que a rede hidrográfica é sobreposta pela rede viária. Quando não é possível evitar que a estrada cruze um corpo d'água, é preciso implementar medidas que minimizem o impacto dessa estrada nos recursos hídricos, como bacias de contenção de sedimentos e de lagoas para escoamento da água. Ainda, a

instalação de cercas para reduzir os atropelamentos de fauna é outro exemplo de como minimizar esse impacto em estradas.

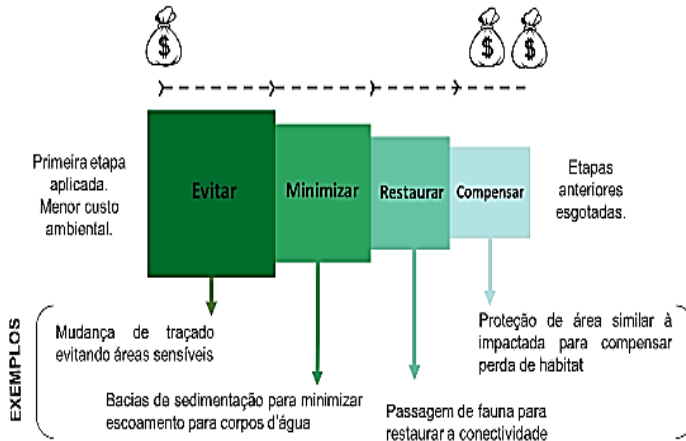
A terceira etapa da hierarquia da mitigação deve objetivar restaurar os componentes impactados que não puderam ser evitados e/ou minimizados. A redução da conectividade da paisagem pode ser, por exemplo, restaurada com a instalação de passagens de fauna para restaurar a permeabilidade perdida na paisagem.

Para qualificar a tomada de decisão, é necessário melhorar os estudos ambientais que são realizados com a preocupação de identificar corretamente os impactos e tentar evitar/minimizar/restaurar ou compensá-los da melhor forma possível a fim de que sirvam para a tomada de decisão. Para aumentar a efetividade do processo de licenciamento ambiental, é preciso que os desenhos amostrais implementados nos estudos sejam adequados para responder às perguntas que vão direcionar as decisões sobre os impactos do empreendimento. Por exemplo, pensando no impacto de atropelamento de fauna, a avaliação de quantos animais morrem e onde e quando essas mortes se concentram é vital para o planejamento de medidas mitigadoras.

Um exemplo de como acelerar a apropriação dos novos conhecimentos e transformar as práticas tradicionalmente adotadas no licenciamento é um conjunto de estratégias de trocas de saberes que vêm sendo aplicadas pelo Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias (NERF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) nos últimos anos, visando tornar os desenhos amostrais aplicados no licenciamento mais robustos. Essas estratégias incluem cursos de formação continuada para consultores e analistas ambientais e ciclos de *workshops* que reúnem profissionais de todos os setores envolvidos com o planejamento, a construção, a operação, a avaliação e o licenciamento de infraestruturas viárias para a discussão sobre o escopo dos estudos e a definição de protocolos de amostragem (KINDEL *et al.*, 2017). Os ciclos de *workshops*, por exemplo, procuram garantir que as métricas e procedimentos recomendados durante os eventos sigam princípios de significado (relevância para o processo decisório), credibilidade (suportados pelas melhores evidências e argumentos científicos disponíveis), legitimidade (discutidos e acordados pe-

los múltiplos setores participantes) e exequibilidade (VAN OUDENHOVEN *et al.*, 2018). Alguns instrumentos resultantes desses encontros já se transformaram em instrumentos de política pública exigidos pelos órgãos ambientais (FEPAM, 2018).

Figura 3 - Etapas da hierarquia da mitigação e exemplos de ações



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Primeiro é necessário procurar evitar os impactos; depois, minimizar os impactos não evitados para, então, restaurar o que ainda está sendo impactado e só no fim compensar os impactos residuais que não forem contemplados nas etapas anteriores da hierarquia.

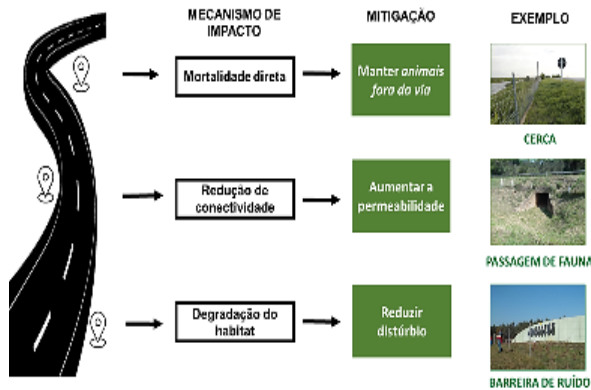
COMO MITIGAR OS IMPACTOS DAS ESTRADAS?

Medidas de mitigação estão sendo instaladas ao redor do mundo, visando reduzir os impactos das estradas sobre a fauna (LAUXEN, 2012; CONECTE, 2012). Existe uma grande variedade de medidas mitigadoras disponíveis com uma parte delas visando modificar o comportamento dos motoristas, como placas sinalizadoras e redutores de velocidade, e outra parte

visando modificar o comportamento dos animais, como cercas e passagens de fauna subterrâneas ou sobre a estrada (SEILER; HELLDIN, 2006).

Entretanto, antes de implementar uma ação de mitigação, é preciso ter clareza sobre qual impacto da estrada se quer mitigar. Há diferentes medidas voltadas para diferentes tipos de impactos. Anteriormente à instalação de medidas de mitigação específicas, é muito importante estabelecer quais são os mecanismos envolvidos nos impactos que se quer mitigar (TEIXEIRA; RYTWINSKI; FAHRIG, 2020). Se o principal objetivo é mitigar os atropelamentos de fauna, é importante então focar em estratégias para evitar que os animais cheguem à via. Por outro lado, se o objetivo é reduzir a perda de conectividade pela presença da estrada, medidas para aumentar o fluxo de indivíduos entre um lado e outro da via, como passagens de fauna, são uma boa alternativa. Por fim, se o objetivo da mitigação é reduzir a degradação de *habitat* causada pela estrada, como o aumento do ruído ou poluição nos corpos d'água, medidas voltadas à manutenção da qualidade do *habitat* são importantes, como barreiras de som e estruturas que impeçam o escoamento de poluentes a partir da estrada.

Figura 4 - Mecanismos de impacto e a mitigação associada a cada um deles



Autores das fotos dos exemplos: Fernanda Z. Teixeira, Larissa O. Gonçalves e Simone R. Freitas (2012).

Fonte: Wikimedia Commons (2019). Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wildlife_overpass_in_Germany_2012_-_sound_barrier.jpg. Acesso em: set. 2019.

É fundamental que as medidas de mitigação sejam planejadas especificamente para o impacto que se deseja mitigar. Além dos mecanismos por trás dos impactos de estradas, é importante ter clareza sobre em qual nível de organização biológica uma medida mitigadora deve atuar, pois isso definirá quais serão as medidas de sucesso para o monitoramento da mitigação (CLEVENGER, 2005). Por exemplo, medidas implementadas para a redução do número de atropelamentos podem ter como motivação a questão ética ou a legislação ambiental brasileira, a qual prevê que a perda de qualquer indivíduo deve ser evitada, ou então a manutenção da persistência de uma população, ou ainda a manutenção da comunidade de espécies de um dado local. Em cada um desses contextos, a medida de sucesso da mitigação da mortalidade será diferente, avaliando cada indivíduo que deixa de morrer, ou se a abundância da população está se mantendo estável, ou ainda se a comunidade de espécies está sendo afetada pela mortalidade.

Após a implementação de medidas mitigadoras, é sempre fundamental que haja um monitoramento de sua efetividade, tanto para identificar adequações necessárias (mitigação adaptativa) quanto para gerar conhecimento para novos empreendimentos que precisem de medidas similares. O monitoramento da efetividade das medidas deve ser feito com desenhos amostrais adequados que comparem a variável de sucesso da mitigação antes e depois de sua implementação, ou em áreas mitigadas e em áreas de controle com o impacto (VAN DER GRIFT *et al.*, 2013). Registrar espécies em passagens de fauna, por exemplo, apenas demonstra que essas espécies utilizam as passagens, mas não nos diz nada sobre a efetividade da medida de mitigação. Ainda, o monitoramento da mitigação com desenhos amostrais que incluam a coleta de dados em vários momentos antes e depois da medida implementada, incluindo áreas de controle, permite identificar mudanças nas variáveis de interesse as quais podem não ser abruptas e constantes após a instalação da medida (THIAULT *et al.*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estradas são um dos principais fatores antrópicos causadores de impactos ambientais. Nesse sentido, diversas ações e medidas mitigadoras estão sendo amplamente instaladas para reduzi-los. Dentro do contexto de planejamento de uma estrada e do seu licenciamento ambiental, a hierarquia da mitigação deve sempre ser seguida, sendo que evitar os impactos deveria ser o primeiro alvo do planejamento, enquanto os demais (minimizar, restaurar e compensar) apenas deveriam ser implementados depois de esgotadas as possibilidades anteriores.

A tomada de decisão precisa ser qualificada com a melhoria da qualidade dos estudos técnicos e sempre ser baseada em evidências. O monitoramento dos impactos causados pelas estradas deve ser realizado com foco na mitigação adaptativa, indicando alterações que devem ser implementadas (e monitoradas) quando a medida não for efetiva. Ainda, todo empreendimento implementado pode servir de exemplo para os empreendimentos futuros, retroalimentando o sistema e contribuindo para melhorar a qualidade dos estudos posteriores e da tomada de decisão. A busca por essa melhoria pode vir de maiores colaborações entre os diferentes setores envolvidos nas etapas de planejamento, construção e operação de estradas, focando nas políticas públicas. As discussões apresentadas neste capítulo foram focadas em estradas e empreendimentos viários, mas valem para qualquer outro empreendimento que passe por essas etapas.

REFERÊNCIAS

ALAMGIR, M.; CAMPBELL, M. J.; SLOAN, S.; GOOSEM, M.; CLEMENTS, G. R.; MAHMOUD, M. I.; LAURANCE, W. F. Economic, Socio-Political and Environmental Risks of Road Development in the Tropics. **Current Biology**, v. 27, n. 20, p. R1130-R1140, out. 2017.

ASCENSÃO, F.; CLEVENGER, A.; SANTOS-REIS, M.; URBANO, P.; JACKSON, N. Wildlife-vehicle collision mitigation: Is partial fencing the answer? An agent-based model approach. **Ecological Modelling**, v. 257, p. 36-43, maio 2013.

BALKENHOL, N.; HOLBROOK, J. D.; ONORATO, D.; ZAGER, P.; WHITE, C.; WAITS, L. P. A multi-method approach for analyzing hierarchical genetic structures: a case study with cougars *Puma concolor*. **Ecography**, n. 37, p. 552-563, 2014.

BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA JUNIOR, C. A.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, v. 177, p. 203-209, sep. 2014.

BENÍTEZ-LÓPEZ, A.; ALKEMADE, R.; VERWEIJ, P. A. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. **Biological Conservation**, v. 143, n. 6, p. 1307-1316, 2010.

BISHOP, C. A.; BROGAN, J. M. Estimates of Avian Mortality Attributed to Vehicle Collisions in Canada. **Avian Conservation and Ecology**, v. 8, n. 2, p. art2, 2013.

BORASINO, E.; GLAVE, M.; HAK, J.; JOSSE, C.; VERA-DIAZ, M. D. C.; FLECK, L. C. **Estrategias de Conservación a lo largo de la carretera Interoceánica en Madre de Dios, Perú**: Un análisis económico espacial Conservation Strategy Fund. [S.l.: s.n.], 2010.

BRASIL. Lei nº 5.917, de 10 de setembro de 1973. Aprova o Plano Nacional de Viação e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 12 de setembro de 1973. Seção 1, Suplemento, p. 1.

BRASIL. Lei nº 12.379, de 6 de janeiro de 2011. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação - SNV; altera a Lei nº 9.432, de 8 de janeiro de 1997; revoga as Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, 6.346, de 6 de julho de 1976, 6.504, de 13 de dezembro de 1977, 6.555, de 22 de agosto de 1978, 6.574, de 30 de setembro de 1978, 6.630, de 16 de abril de 1979, 6.648, de 16 de maio de 1979, 6.671, de

4 de julho de 1979, 6.776, de 30 de abril de 1980, 6.933, de 13 de julho de 1980, 6.976, de 14 de dezembro de 1980, 7.003, de 24 de junho de 1982, 7.436, de 20 de dezembro de 1985, 7.581, de 24 de dezembro de 1986, 9.060, de 14 de junho de 1995, 9.078, de 11 de julho de 1995, 9.830, de 2 de setembro de 1999, 9.852, de 27 de outubro de 1999, 10.030, de 20 de outubro de 2000, 10.031, de 20 de outubro de 2000, 10.540, de 1o de outubro de 2002, 10.606, de 19 de dezembro de 2002, 10.680, de 23 de maio de 2003, 10.739, de 24 de setembro de 2003, 10.789, de 28 de novembro de 2003, 10.960, de 7 de outubro de 2004, 11.003, de 16 de dezembro de 2004, 11.122, de 31 de maio de 2005, 11.475, de 29 de maio de 2007, 11.550, de 19 de novembro de 2007, 11.701, de 18 de junho de 2008, 11.729, de 24 de junho de 2008, e 11.731, de 24 de junho de 2008; revoga dispositivos das Leis nºs 6.261, de 14 de novembro de 1975, 6.406, de 21 de março de 1977, 11.297, de 9 de maio de 2006, 11.314, de 3 de julho de 2006, 11.482, de 31 de maio de 2007, 11.518, de 5 de setembro de 2007, e 11.772, de 17 de setembro de 2008; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 07 de janeiro de 2011. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Síntese**: Setor Rodoviário. Publicado em 26 de setembro de 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/dados-de-transportes/sintese-rodoviario>. Acesso em: maio 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Ministério dos Transportes. Portaria Interministerial MMA/MT n. 288, de 16 de julho de 2013. Institui o Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis – PROFAS, para fins de regularização ambiental das rodovias federais. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 19 de julho de 2013. Seção 1, p. 60.

BROWN, G. P.; PHILLIPS, B. L.; WEBB, J. K.; SHINE, R. Toad on the road: Use of roads as dispersal corridors by cane toads (*Bufo marinus*) at an invasion front in tropical Australia. **Biological Conservation**, v. 133, n. 1, p. 88-94, 2006.

CAORSI, V. Z.; BOTH, C.; CECHIN, S.; ANTUNES, R.; BORGES-MARTINS, M. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. **Plos One**, v. 12, n. 8, p. 1-14, aug. 2017.

CHEN, H. L.; KOPROWSKI, J. L. Barrier effects of roads on an endangered forest obligate: influences of traffic, road edges, and gaps. **BIOC**, v. 199, p. 33-40, 2016.

CHEE, Y. E. Principles Underpinning Biodiversity Offsets and Guidance on their Use. **Handbook of Road Ecology**, p. 51-59, 2015.

CLEVENGER, A. P. Conservation value of wildlife crossings: Measures of performance and research directions. **Gaia**, v. 14, n. 2, p. 124-129, 2005.

CONECTE GUIA DE PROCEDIMENTOS PARA MITIGAÇÃO DE IMPACTOS DE RODOVIAS SOBRE A FAUNA. 2.1 Medidas Mitigadoras: opções existentes - intervenções estruturais. Publicação atualizada em 21 de agosto de 2012 [on-line]. Disponível em: https://www.conecte.bio.br/med_est.html. Acesso em: mar. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 22 de dezembro de 1997. N. 247, Seção 1, p. 30.841. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: maio 2020.

DORNAS, R. A. P.; KINDEL, A.; BAGER, A.; FREITAS, S. R. Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. *In*: BAGER, A. (Ed.). **Ecologia de Estradas: Tendências e Pesquisas**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2012, p. 139-152.

EGEA-SERRANO, A.; RELYEA, R. A.; TEJEDO, M.; TORRALVA, M. M. Understanding of the impact of chemicals on amphibians: A meta-analytic review. **Ecology and Evolution**, v. 2, n. 7, p. 1382-1397, 2012.

EPPS, C. W.; PALSBØLL, P. J.; WEHAUSEN, J.; RODERICK, J. Highways block gene flow and cause a rapid decline in genetic diversity of desert bighorn sheep. **Ecology Letters**, v. 8, n. 10, p. 1029-1038, 2005.

ERRITZOE, J.; MAZGAJSKI, T. D.; REJT, Ł. Bird Casualties on European Roads - A Review. **Acta Ornithologica**, v. 38, n. 2, p. 77-93, 2003.

FLECK, L. C. **Eficiência econômica, riscos e custos ambientais da reconstrução da rodovia BR-319.** [S.l.: s.n.], 2009.

FORMAN, R. T.; BORASINO, E.; GLAVE, M.; HAK, J.; JOSSE, C.; VERA-DIAZ, M. D. C. **Road Ecology: Science and Solutions.** Washington DC: Island Press, 2003.

FORMAN, R. T.; DEBLINGER, R. D. The Ecological Road-Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 36-46, 2000.

FREITAS, K. P. A.; GONÇALVES, L.; KINDEL, A.; TEIXEIRA, F. Z. Road effects on wildlife in brazilian environmental licensing. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 3, Special Issue, p. 280-291, 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - FEPAM. **Diretriz técnica nº 06/2018.** Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DIRET_TEC_06_2018.PDF. Acesso em: 23 maio 2020.

HILL, J. E.; DEVAULT, T. L.; BELANT, J. L. Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 5, p. 680-689, 2019.

IBISCH, P. L.; HOFFMANN, M. T.; KREFT, S.; PE'ER, G.; KATI, V.; BIBER-FREUDENBERGER, L.; DELLASALLA, D. A.; VALE, M. M.; HOBSON, P. R.; SELVA, N. A global map of roadless areas and their conservation status. **Science**, v. 354, n. 6318, p. 1423-1427, 2016.

JACKSON, N. D.; FAHRIG, L. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological Conservation**, v. 144, n. 12, p. 3143-3148, 2011.

JAEGER, J. A. G.; FAHRIG, L. Effects of road fencing on population persistence. **Conservation Biology**, v. 18, n. 6, p. 1651-1657, 2004.

KINDEL, A.; TEIXEIRA, F. Z.; GONÇALVES, L. O.; COELHO, I. P.; BEDUSCHI, J.; OLIVEIRA, G. S. de; LEMOS, C. A.; HERKENHOFF, C. Z.; LAUXEN, M.; LEITE, L. C. de L.; SILVEIRA, L. F. dos F.; SILVA, S. A. P. da; SANA, D. A. Following the “why? what? and how?” schema to improve road-kill evaluation in environmental impact assessments of Southern Brazil. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 3, Special Issue, p. 256-267, 2017.

KOCIOLEK, A. V. et al. Effects of Road Networks on Bird Populations. **Conservation Biology**, v. 25, n. 2, p. no-no, 2011.

LAURANCE, W. F. Bad Roads, Good Roads. *In*: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). **Handbook of Road Ecology**. 1. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 10-15.

LAURANCE, W. F.; CLEVINGER, A. P.; CLAIR, C. C. S.; PROPPE, D. S. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 19, n. 8, p. 737-748, 2002.

LAURANCE, W. F.; CLEMENTS, G. R.; SLOAN, S.; O'CONNELL, C. S.; MUELLER, N. D.; GOOSEM, M.; VENTER, O.; EDWARDS, D. P.; PHALAN, B.; BALMFORD, A.; VAN DER REE, R.; ARREA, I. B. A global strategy for road building. **Nature**, v. 513, n. 7517, p. 229-232, 2014.

LAUXEN, M. D. S. **A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão**. 2012. 146 f. Monografia (Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

LAWRENCE, D. P. Quality and effectiveness of environmental impact assessments: Lessons and insights from ten assessments in Canada. **Project Appraisal**, v. 12, n. 4, p. 219-232, 1997.

LOSS, S. R.; WILL, T.; MARRA, P. P. Estimation of bird-vehicle collision mortality on U.S. roads. **Journal of Wildlife Management**, v. 78, n. 5, p. 763-771, 2014.

MALKY, A.; REID, J.; LEDEZMA, J. C.; FLECK, L. El filtro de carreteras: un análisis estratégico de proyectos viales en la Amazonía. *In: CONSERVATION STRATEGY FUND - CSF. Conservación Estreatégica*. Série Técnica n. 21. La Paz, Bolívia: CSF, 2011.

MORTENSEN, D. A.; RAUSCHERT, E. S. J.; NORD, A. N.; JONES, B. P. Forest Roads Facilitate the Spread of Invasive Plants. **Invasive Plant Science and Management**, v. 2, n. 3, p. 191-199, 2009.

NÓBREGA, R. A. de A.; FERRAZ, C. A. M.; BERBERIAN, C. F. Q.; MASUKAWA, N.; DIAS FILHO, N.; VIEIRA, R. R. T.; QUADROS, E. A. T. Inteligência geográfica para avaliação de propostas de projeto de concessão de corredores ferroviários. **Transportes**, v. 24, n. 4, p. 75, 2016.

OTTBURG, F.; BLANK, M. Solutions to the Impacts of Roads and Other Barriers on Fish and Fish Habitat. *In: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). Handbook of Road Ecology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 364-372.

PARRIS, K. M. Ecological Impacts of Road Noise and Options for Mitigation. *In: VAN DER PLANILLO, A.; ESTACIO, C. M.; MANICA, A.; MALO, J. E. Carnivore abundance near motorways related to prey and roadkills. Journal of Wildlife Management*, v. 82, n. 2, p. 319-327, 2018.

REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). **Handbook of Road Ecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015. p. 151-158.

ROBERTS, K.; SJÖLUND, A. Incorporating Biodiversity Issues into Road Design: The Road Agency Perspective. *In: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). Handbook of Road Ecology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 27-31.

SEILER, A.; HELLDIN, J. Mortality in wildlife due to transportation. *In: DAVENPORT, J.; DAVENPORT, J. L. (Eds.) The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. Netherlands: Springer, 2006, p. 165-189.

STEYAERT, S. M. J. G.; ZEDROSSER, A.; ROSELL, F. Socio-ecological features other than sex affect habitat selection in the socially obligate monogamous Eurasian beaver. **Oecologia**, v. 179, n. 4, p. 1023-1032, 2015.

STOKES, J. What Transportation Agencies Need in Environmental Impact Assessments and Other Reports to Minimise Ecological Impacts. *In*: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). **Handbook of Road Ecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 43-50.

TEIXEIRA, F. Z.; COELHO, A. V. P.; ESPERANDIO, I. B.; KINDEL, A. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. **Biological Conservation**, v. 157, p. 317-323, 2013.

TEIXEIRA, F. Z.; RYTWINSKI, T.; FAHRIG, L. Inference in road ecology research: What we know versus what we think we know. **Biology Letters**, v. 16, p. 1-8, jul. 2020.

THIAULT, L.; KERNALÉGUEN, L.; OSENBERG, C. W.; CLAUDET, J. Progressive-Change BACIPS: a flexible approach for environmental impact assessment. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 3, p. 288-296, 2017.

TISLER, T. R. **(Un)Sustainable Policy Paradigm: Using Modeling to Address the Contradictory Faults of Brazil's Transportation Infrastructure – Socioenvironmental Conservation Nexus**. 2019. 209 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

TROMBULAK, S. C.; FRISSELL, C. A. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 18-30, fev. 2000.

VAN DER GRIFT, E. A.; VAN DER REE, R.; FAHRIG, L.; FIDLAY, S.; HOULAHAN, J.; JAEGER, J. A. G.; KLAR, N.; MADRIÑAN, L. F.; OLSON, L. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, n. 2, p. 425-448, 2013.

VAN DER REE, R.; JAEGER, J. A. G.; RYTWINSKI, T.; VAN DER GRIFT, E. A. Good Science and Experimentation are Needed in Road Ecology. *In*: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). **Handbook of Road Ecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 71-81.

VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. The Ecological Effects of Linear Infrastructure and Traffic: Challenges and Opportunities of Rapid Global Growth. *In*: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). **Handbook of Road Ecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 1-9.

VAN DER REE, R.; TONJES, S.; WELLER, C. Ensuring the Completed Road Project is Designed, Built and Operated as Intended. **Handbook of Road Ecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 65-70.

VAN OUDENHOVEN, A. P. E.; SHRÖTER, M.; DRAKOU, E.; GEIJZENDORFFER, I. R. Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making. **Ecological Indicators**, v. 95, p. 417-426, jun. 2018.

WAGNER, P. J. Form and Function: A More Natural Approach to Infrastructure, Fish and Stream Habitats. *In*: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (Eds.). **Handbook of Road Ecology**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 357-363.

WARE, H. E.; MCCLURE, C. J. W.; CARLISLE, J. D.; BARBER, J. R. A phantom road experiment reveals traffic noise is an invisible source of habitat degradation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 39, p. 12105-12109, 29 set. 2015.

WIKIMEDIA COMMONS. **Ecologia de Estradas, atropelamento, mitigação, colisão entre veículos e fauna, conectividade**. De 21 de outubro de 2012 [*on-line*]. Página atualizada em 4 de julho de 2019. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wildlife_overpass_in_Germany_2012_-_sound_barrier.jpg. Acesso em: set. 2019.