

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

RAFAELA RITTER HENCKES

**Impactos das Rodovias sobre Riachos: Uma Análise dos Estudos de Impacto Ambiental
no Brasil**

Porto Alegre

2024

RAFAELA RITTER HENCKES

Impactos das Rodovias sobre Riachos: Uma Análise dos Estudos de Impacto Ambiental no Brasil

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul a ser enviado no formato de artigo para a revista Academia Brasileira de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Gertum Becker

RAFAELA RITTER HENCKES

Impactos das Rodovias sobre Riachos: Uma Análise dos Estudos de Impacto Ambiental no Brasil

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovado em: 13/08/2024

Fernando Gertum Becker
Departamento de Ecologia - UFRGS
Orientador

Bibiana Terra Dasoler de Oliveira
Departamento de Ecologia - UFRGS
Examinadora

Larissa de Oliveira Gonçalves
Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP
Examinadora

CIP - Catalogação na Publicação

Ritter Henckes , Rafaela
Impactos das Rodovias sobre Riachos: Uma Análise
dos Estudos de Impacto Ambiental no Brasil / Rafaela
Ritter Henckes . -- 2024.
43 f.
Orientador: Fernando Gertum Becker.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Biociências, Bacharelado em Ciências Biológicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Ecossistemas aquáticos. 2. Avaliação de Impacto
Ambiental. 3. EIA. 4. peixes. 5. rodovias . I. Gertum
Becker, Fernando, orient. II. Título.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional! Por sempre se esforçarem ao máximo para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Sem dúvida alguma, tudo isso só foi possível graças a eles!

Ao Rafa, por ser meu companheiro em todos os momentos da graduação e da vida! Obrigada por todo o apoio durante os surtos, que não foram poucos, por me encorajar e incentivar diariamente, pelas conversas, risadas e por tornar tudo mais fácil!

Ao meu orientador Fritz, pela confiança, por todo o apoio, ensinamentos e orientação ao longo desse trabalho, realmente só foi possível por conta dele.

A todo o pessoal do Laboratório de Ecologia de Paisagem! À Alice, Camana, Cris, Gabi, Júlia, Nico, Rodrigo e Sabrina! Obrigada por todo apoio, pelos cafés com conversas e fofocas, pelos campos e comemorações nas Olimpíadas.

Ao Lucas, por me incentivar a buscar sempre por novos desafios! Por todas as conversas caóticas e profundas de sempre!

A todos os amigos que a Biologia me proporcionou conhecer, à Dani, Diego, Jéssica, Joka, Manu, Monik, Pati e Sophia!

Às amigas de longa data, Cris, Karen, Luiza e Paulinha! Por estarem por perto durante toda essa caminhada!

A todos os professores que de uma forma ou de outra influenciaram e contribuíram para minha formação! Obrigada por todos os ensinamentos e vivências!

À Bibiana e Larissa, por terem aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora! Tenho certeza de que todas as contribuições serão de grande importância para o aprimoramento desse trabalho!

Resumo

Rodovias são consideradas fundamentais para o desenvolvimento econômico. Entretanto, causam impactos em ecossistemas aquáticos, como fragmentação de habitat, alteração do fluxo de água e de entrada de sedimentos e poluição química. Visando minimizar danos, é obrigatório elaborar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), que diagnostica e avalia potenciais efeitos dos empreendimentos, orientando a decisão por órgãos gestores sobre medidas de mitigação. Nosso objetivo foi analisar as abordagens dos EIAs de rodovias no Brasil, com ênfase nos impactos sobre riachos e peixes, nos indicadores utilizados e na consideração dos aspectos recomendados pela literatura. Analisamos 17 EIAs de rodovias brasileiras com base em 21 critérios e identificamos que a avaliação é insuficiente, com 94,12% dos EIAs classificados como “Ruins”. A avaliação normalmente não incorpora critérios recomendados, ou faz isso apenas para o meio físico, sem integração com a biota. Os indicadores utilizados nos EIA são definidos sem objetivos claros e há uma falta de integração entre resultados obtidos nos diagnósticos de base com a etapa de avaliação de impactos do EIA. Nossos resultados apontam para a necessidade de amplo aperfeiçoamento da prática dos EIAs para que possamos avaliar adequadamente os impactos ambientais de rodovias e orientar medidas de evitação, mitigação, recuperação e compensação de impactos.

Palavras-chave: Ecossistemas aquáticos, Avaliação de Impacto Ambiental, EIA, peixes, riachos, rodovias.

Abstract

"Highways are considered fundamental for economic development. However, they impact aquatic ecosystems, causing habitat fragmentation, alteration of water flow and sediment input, and chemical pollution. To minimize damage, it is mandatory to prepare the Environmental Impact Study (EIA), which diagnoses and evaluates potential effects of the projects, guiding decision-making by management bodies on mitigation measures. Our objective was to analyze the approaches of highway EIAs in Brazil, with an emphasis on impacts on streams and fish, the indicators used, and the consideration of aspects recommended by the literature. We analyzed 17 EIAs of Brazilian highways based on 21 criteria and identified that the evaluation is insufficient, with 94.12% of the EIAs classified as "Poor." The evaluation usually does not incorporate recommended criteria or does so only for the physical environment, without integration with the biota. The indicators used in the EIAs are defined without clear objectives, and there is a lack of integration between the results obtained in the baseline diagnoses and the impact assessment stage of the EIA. Our results point to the need for extensive improvement in EIA practice so that we can adequately assess the environmental impacts of highways and guide avoidance, mitigation, recovery, and compensation measures for impacts."*

Key words: Aquatic ecosystems, Environmental Impact Study, EIA, Fish, Road crossings, Streams.

*Texto traduzido utilizando a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT, com revisão dos autores.

Sumário

Introdução.....	8
Materiais e Métodos	14
Resultados	19
Discussão	25
Considerações finais	32
Referências.....	33
Apêndices	39

Introdução

Rodovias são amplamente difundidas nas paisagens modernas, fortemente associadas ao desenvolvimento econômico devido à influência na distribuição industrial e na urbanização (Bager & Fontoura, 2012). Apesar de seus benefícios para a sociedade, a construção de rodovias também causa impactos ambientais negativos, afetando ecossistemas e biodiversidade terrestres e aquáticos. Nos ecossistemas aquáticos, os principais impactos são a fragmentação de habitat, a modificação no aporte de sedimentos, as alterações no fluxo de água, as alterações químicas, a dispersão de espécies exóticas (Angermeier *et al.* 2004; Trombulak & Frissell, 2001; Forman *et al.* 2003; Robinson *et al.* 2010), sendo um dos impactos mais preocupantes a potencial fragmentação de bacias hidrográficas (Forman *et al.* 2003). Em termos gerais, a fragmentação do habitat, resultante de vários processos, incluindo a construção de redes viárias, consiste na transformação de áreas antes contínuas em manchas menores e descontínuas, representando séria ameaça à sobrevivência de muitas espécies de ictiofauna (Januchowski-Hartley *et al.* 2013), pois possibilita potenciais barreiras. As barreiras podem variar de semipermeáveis a sazonais e intransponíveis, em alguns contextos, promovendo extinções locais, reduzindo o fluxo gênico entre populações e prejudicando a recolonização das espécies (Warren & Pardew, 1998; Nislow *et al.* 2011). A modificação no aporte de sedimentos também é um impacto preocupante. Os sedimentos podem entrar nos riachos por variadas formas, sendo o escoamento superficial a principal delas, porém a suspensão de poeira advinda do alto tráfego também contribui para maior deposição de sedimentos finos, e conseqüentemente, contaminantes nos corpos hídricos (Gjessing *et al.* 1984 apud Trombulak & Frissell, 2001; Rex & Peticrew, 2011). A deposição de sedimentos e a alteração na hidrodinâmica podem provocar a mudança nos canais de forma local ou até mesmo em quilômetros de distância (Piégay & Landon 1997 apud Trombulak & Frissell, 2001), o que pode elevar níveis de inundação e

favorecer a degradação dos ambientes aquáticos (Forman & Alexander, 1998); mudanças no fluxo da água contribuem para a descaracterização de habitats de peixes, sendo um impacto mais evidente em riachos menores do que em rios (Jones & Grant, 1996). A liberação de contaminantes por veículos é uma das possíveis fontes de alteração química em riachos, que ocorre através dos sedimentos e da água que contém, por exemplo, Fósforo e Nitrogênio dissolvido, e é carregada através do escoamento superficial. Consequentemente, a presença desses nutrientes nos riachos favorece a eutrofização dos ecossistemas aquáticos (Trombulak & Frissell, 2001). A remoção da vegetação ripária intensifica ainda mais esse processo, pois facilita a chegada dos contaminantes na água (Correll *et al.* 1992). Todas as alterações ambientais ocasionadas pelas rodovias podem favorecer a dispersão de espécies exóticas, pois causam degradação no habitat original, o que pode ocasionar o declínio de espécies nativas e a oportunidade estabelecimento para as invasoras (Trombulak & Frissell, 2001).

O crescimento da malha rodoviária resulta no aumento da densidade de cruzamentos entre rodovias e riachos em escala global; estima-se que um aumento de pelo menos 25 milhões de quilômetros de novas rodovias até 2050 (Laurence *et al.* 2014). No Brasil, segundo dados do Ministério de Transportes e da Confederação Nacional do Transporte (Costa, 2022), atualmente existem 1.720.909 km de rodovias, dentre estas, 213.500 km são pavimentadas, correspondendo a 12,4% da extensão total da malha rodoviária. A extensão dessa malha permite presumir um potencial de impacto relevante sobre o ambiente. No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, apenas 0,6% de 5.360 unidades de paisagem (50 km² cada) são livres de rodovias e há mais de 78 mil cruzamentos da malha viária com a malha hidrográfica (*road crossings*) (Flores *et al.*, *no prelo*), o que justifica a necessidade de que as interações entre a malha viária e os ambientes aquáticos recebam atenção na avaliação de impactos ambientais e na busca por medidas de evitação, mitigação, recuperação e compensação de impactos seguindo a hierarquia da mitigação (BBOP, 2009).

O desenvolvimento das rodovias é caracterizado por um escopo espacial e temporal relativamente curto, ocorre ao longo de meses a anos (Park *et al.* 2008; Robinson *et al.* 2010) e é dividido em três principais momentos de impacto: a construção, a presença da rodovia e a urbanização decorrente dela (Bennett, 2017). Durante a construção, ocorrem impactos diretos e indiretos para a biota, assim como nas condições físicas dos corpos hídricos (US EPA, 2005). Alguns dos efeitos podem ser agudos e localizados, como durante a abertura da rodovia, onde existe a presença frequente de maquinários que podem soterrar organismos de ambientes rasos e destruir ninhos (Angermeier *et al.*, 2004). Outros impactos podem ser sistêmicos, pois podem se propagar por toda rede hidrográfica, como aqueles resultantes da contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Brejão *et al.*, 2020; De Fries *et al.*, 2023; Forman & Deblinger, 2000; Paul & Meyer, 2001; Trombulak & Frissell, 2000) decorrente da erosão do solo e do carreamento de sedimentos finos ao longo dos corpos hídricos (Paul & Meyer, 2001). Esses processos podem afetar populações de peixes (Ferreira *et al.*, 2023; Warren & Pardew, 1998), macroinvertebrados bentônicos e outros organismos (Gál *et al.*, 2020), interferindo diretamente na alimentação, na respiração e na reprodução (Hoffman *et al.*, 2012.; Pluym & Lynne, 2006), e resultando na modificação dos cursos d'água por muitos quilômetros de distância a montante e a jusante da estrada. (Trombulak & Frissell 2000).

Uma vez implantadas as rodovias, os impactos ocasionados são semelhantes, porém em escalas espaciais e temporais diferentes, em geral entre décadas a séculos, quando comparados aos impactos do momento da construção (Angermeier *et al.*, 2004). No que diz respeito ao meio físico, podem ocorrer alterações no solo, em temperatura, densidade, luz, níveis de água e padrões de escoamento (Paul & Meyer, 2001). Alterações na composição química - principalmente adição de metais pesados - podem ocorrer localmente na beira das vias e dispersar-se ao longo da bacia hidrográfica (Trombulak & Frissell 2000). Além das substâncias químicas liberadas por automóveis durante a presença da rodovia, o alto tráfego aumenta o

risco de acidentes com contaminantes tóxicos, o que coloca em perigo toda a biodiversidade presente. Estima-se que ocorram mais de 10.000 acidentes anualmente envolvendo poluentes em rodovias nos Estados Unidos (Angermeier *et al.*, 2004), e são encontradas quantidades elevadas em animais aquáticos próximos a malha viária (Van Hassel *et al.* 1980). Outro aspecto relevante, pouco considerado, durante a construção e a permanência de uma rodovia é o ruído decorrente do processo. Um estudo realizado em riachos nos Estados Unidos com peixes do gênero *Cyprinella* evidenciou que o ruído proveniente de tráfego pode afetar a comunicação e os comportamentos dos indivíduos, reduzindo a sobrevivência de ovos, a taxa de reprodução e de vida, e que o ruído pode ser propagado a amplas distâncias, podendo impactar de forma significativa a rede hidrográfica (Holt & Johnston, 2015).

Em relação à urbanização resultante da implantação, juntamente com todos os outros efeitos, existe risco acumulado derivado do aumento de tráfego de automóveis e, conseqüentemente, de pessoas. Pesquisas evidenciam que os riachos e a ictiofauna em bacias hidrográficas intensamente impactadas pela atividade humana sofrem alterações físicas e químicas, por exemplo, à medida que a urbanização aumenta, nota-se uma redução na abundância e diversidade de peixes (Wang *et al.*, 2000; Weaver & Garman, 1994). As espécies nativas também sofrem grande pressão, pois a invasão de espécies exóticas é facilitada pela degradação do ambiente, que perturba populações bem estabelecidas, e pela ação antrópica, que favorece a introdução e o estabelecimento das invasoras, contribuindo para a diminuição e até possível extinção de organismos nativos do ambiente (Gál *et al.*, 2020; Trombulak & Frissell, 2000).

Visando avaliar a viabilidade do empreendimento e minimizar os impactos, para que uma rodovia seja implementada ou duplicada, é necessário que haja o licenciamento ambiental dessa atividade. No Brasil, o processo ocorre através da emissão de licenças prévias, licenças de instalação e licenças de operação (Ministério do Meio Ambiente, 2024; CONAMA 001/1986).

A resolução CONAMA 001/1986, específica que o licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras necessita de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA), enquanto a resolução CONAMA nº 237/1997 prevê especificamente o licenciamento de rodovias. A finalidade do EIA é avaliar a viabilidade do empreendimento e quais os possíveis danos que pode causar ao meio ambiente, servindo de amparo para a tomada de qualquer decisão por parte dos órgãos competentes (Duarte *et al.*, 2017a; Sánchez, 2020). Além da legislação vigente, foi criado em 2020 um Manual de Licenciamento Ambiental Federal de Rodovias e Ferrovias, em parceria entre o Ministério de Infraestrutura e o Programa de Parceria de Investimentos da Casa Civil, onde existem algumas recomendações na elaboração de EIAs. Em relação ao meio físico, recomenda-se que o projeto leve em consideração as alternativas locacionais ou tecnológicas, que visem a proteção dos corpos d'água e ecossistemas aquáticos relevantes que podem sofrer impacto direto ou indireto do empreendimento. Para o meio biótico de modo geral, recomenda-se a avaliação da importância do local para abrigo, reprodução, alimentação e deslocamento da fauna, assim como se existe potencial intervenção para espécies endêmicas, ameaçadas de extinção, migratórias, raras, entre outras, e também se o empreendimento acarretará no isolamento de populações, perda de habitat, pressão antrópica e outras formas de impacto.

Em geral, o EIA é organizado de forma a cumprir uma série de etapas, como o diagnóstico do meio físico, do meio biótico e do meio socioeconômico, seguido de avaliação de todos os possíveis impactos diagnosticados e alternativas de evitação ou de mitigação, entre outras etapas. O objetivo é de que todas as fases sejam organizadas de forma lógica (Sánchez, 2020). Apesar da regulamentação e da obrigatoriedade desses estudos, na prática, a sua formatação nem sempre é realizada com a maior qualidade ou aplicada da melhor forma (Duarte *et al.*, 2017b), como por exemplo, em alguns contextos o EIA é visto, majoritariamente, como uma burocracia técnica separada dos aspectos econômicos e de idealização do projeto, ou até mesmo realizado em momentos finais do planejamento, quando toda a proposta do

empreendimento já foi realizada, sobrando pouco espaço para que os resultados sejam realmente considerados (Glasson *et al.*, 2000). Um trabalho realizado com profissionais de órgãos reguladores que atuam na avaliação destes estudos evidenciou que os principais pontos negativos desses documentos são a grande quantidade de páginas contendo muitos dados de diagnóstico, mas sem a devida avaliação dos possíveis impactos, por exemplo, a falta de análise de possíveis efeitos cumulativos (Duarte *et al.*, 2017a).

Diversos autores já demonstraram preocupação em relação à qualidade dos Estudos de Impactos realizados no Brasil e em outras partes do mundo (Glasson *et al.*, 2000; Ross *et al.*, 2006; Duarte *et al.*, 2017b; Sánchez, 2020). Uma avaliação de risco abrangente deveria incorporar todos os impactos negativos das rodovias, permitindo que os gestores se beneficiem de ferramentas e conhecimentos científicos desenvolvidos, a fim de tomar decisões melhor embasadas, mitigar as consequências e reduzir implicações negativas (Warren & Pardew, 1998; Angermeier *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2008;). Tratando-se especificamente de ecossistemas aquáticos, embora existam evidências de impactos importantes (Spellerberg, 1998; Park *et al.* 2008; Nislow *et al.* 2011; Perkin & Gido, 2012; Holt & Johnston, 2015), as implicações específicas para a biota têm recebido menos atenção do que no ambiente terrestre (Anderson *et al.* 2012), e diretrizes claras ou protocolos ainda não são bem estabelecidos, levando a variações entre avaliações.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi realizar um diagnóstico das abordagens dos EIAs de rodovias no Brasil em relação aos impactos sobre ecossistemas aquáticos (em especial riachos e peixes). Especificamente, investigamos (1) se os impactos sobre riachos estão sendo adequadamente analisados nos EIAs (“De modo geral, há uma boa prática de avaliação de impactos sobre peixes e riachos?”); (2) quais os critérios de avaliação de impacto ambiental sobre riachos em que os EIAs tem melhor ou pior desempenho?, (3) os aspectos ecológicos dos riachos indicados como importantes na literatura científica são avaliados (como a fragmentação

de habitat e alterações nos padrões de sedimentação), (4) quais indicadores ambientais estão sendo utilizados, e (5) se existe consistência lógica entre diagnóstico ambiental, previsão de impactos e avaliação dos impactos. Ao final, buscamos identificar quais são pontos positivos existentes nos EIA e também quais são as limitações, sugerindo melhorias de qualidade e efetividade da prática dos EIA para avaliação de impactos de rodovias sobre ecossistemas de riachos e sobre peixes.

Materiais e Métodos

Neste estudo, analisamos como os Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) de rodovias no Brasil avaliam impactos sobre biota de riachos. Para tanto estabelecemos um conjunto de 21 critérios que esperaria-se ver analisados pelos EIAs e avaliamos o desempenho de cada EIA considerando cinco compartimentos gerais: 1) desempenho geral dos EIAs na avaliação de impactos sobre ecossistemas de riachos; 2) desempenho no uso específico de cada um dos 21 critérios; 3) o uso de indicadores ou alvos de análise considerados importantes na literatura científica; 4) quais os indicadores e alvos ecológicos para peixes são utilizados pelos EIAs e sua consistência entre eles; e 5) a consistência no fluxo lógico de avaliação diagnóstico ambiental-identificação de impactos–avaliação de impactos.

Conduzimos um levantamento de EIAs relacionados ao licenciamento de rodovias no Brasil, abrangendo tanto a implementação/pavimentação quanto a duplicação. Para isso, realizamos buscas nas bases de dados de órgãos ambientais licenciadores, com o objetivo de obter os documentos necessários para a avaliação. Utilizamos os sítios institucionais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Secretarias Estaduais de Meio Ambiente (SEMA) e Companhia Estadual de Meio Ambiente (CETESB). Durante a busca, realizada em 2023, priorizamos estudos realizados nos últimos dez anos, a fim de representar apenas a prática de avaliação mais recente. Seleccionamos 17

Estudos de Impacto Ambiental realizados entre 2013 e 2022, referentes a rodovias de diferentes estados brasileiros, entre esses, dez foram de obras de duplicação e sete de obras de implantação (Tabela I).

Tabela I. Estudos de Impacto Ambiental de licenciamento de rodovias analisados no presente estudo, com tipo de obra, ano e unidade da federação (UF).

Número	EIA	Tipo de obra	Ano	Estado
1	BR 392	Implantação	2022	RS
2	BR 080	Implantação	2014	MT
3	BR 101	Implantação	2013	SC
4	BR 242	Implantação	2021	MT
5	BR 135	Implantação	2020	BA
6	BR 135	Implantação	2013	MG
7	BR 319	Implantação	2014	AM
8	BR 101	Duplicação	2013	BA
9	BR 364	Duplicação	2018	MT/RO
10	BR 116	Duplicação	2015	MG
11	BR 163	Duplicação	2014	MS
12	BR 262	Duplicação	2014	MG/ES
13	BR 365	Duplicação	2016	MG/GO
14	SP 284	Duplicação	2022	SP
15	BR 040	Duplicação	2014	DF/GO/MG
16	BR 386	Duplicação	2018	RS
17	BR 101	Duplicação	2015	ES/BA

Para avaliar cada EIA aplicamos 21 critérios, adaptando os protocolos Environmental Impact Statement Review Package (Glasson *et al.* 2005) e de Gonçalves (2012) ao nosso contexto de interesse: impactos sobre riachos e peixes (Apêndice I). A definição dos critérios buscou contemplar aspectos importantes para uma avaliação adequada de impactos ambientais de rodovias sobre riachos e sua biota. Para definição dos critérios, procuramos incluir tópicos que avaliavam se ocorre planejamento com objetivos bem definidos para a realização das amostragens e do estudo em geral; se é realizado de forma local ou ampla. Levamos em conta

aspectos como a identificação de possíveis fatores geradores de impacto: erosão; assoreamento; distribuição dos sedimentos nos riachos; impacto para peixes; efeitos diretos ou indiretos de resíduos, sejam eles produzidos durante a construção ou operação da rodovia. Avaliamos como é realizado o estudo de base (abordagem exaustiva ou dedicada, cfe. Sanchez, 2020); definição da área de estudo; diagnóstico do meio físico e biótico, passando por identificação e avaliação dos impactos potenciais sobre biota aquática (diversidade, composição e espécies de interesse especial) e seus habitats (degradação, modificação e fragmentação). Portanto, analisamos se foi realizado o mapeamento dos riachos interceptados ou potencialmente impactados pelo empreendimento e se houve a caracterização do estado ambiental desses riachos. Se existe a utilização de critérios ou métricas de fragmentação, perda ou degradação do habitat, levando em conta a perspectiva da biota aquática, e se identificados os impactos se existem propostas de mitigação ou evitação. Consideramos a espacialização dos estudos de base e dos resultados da avaliação fundamental para orientar a tomada de decisão e proposição de medidas de mitigação de impacto.

Cada critério continha quatro alternativas de resposta que poderiam receber escores entre zero (não avaliado) e três (ótima avaliação). Uma vez aplicada a avaliação dos EIAs em todos os critérios, analisamos o desempenho geral de cada EIA considerando o conjunto dos critérios (objetivo 1: “de modo geral, há uma boa prática da avaliação de impacto sobre peixes e riachos?”). Avaliamos ainda o desempenho do conjunto dos EIAs em cada critério específico (objetivo 2: “Quais os aspectos de avaliação de impacto sobre riachos em que os EIAs têm melhor ou pior desempenho?”).

Com objetivo de melhor avaliar os dados obtidos, utilizamos uma metodologia adaptada de Gonçalves (2012). Para avaliar o desempenho geral dos EIAs, após a atribuição dos escores aos critérios específicos, obtivemos o escore final de cada EIA através de uma soma de todos os escores alcançados para cada estudo e dividida pela soma máxima possível dos critérios

(onde o escore máximo possível era 3, multiplicado pelo número de critérios; $3 \cdot 21 = 63$). Esse resultado foi referente ao escore total relativo de cada EIA de forma geral. Para a avaliação dos critérios de forma específica, realizamos o mesmo cálculo, porém com a modificação do divisor na soma máxima possível (escore máximo continua sendo 3, porém multiplicado pelo número de estudos; $3 \cdot 17 = 51$). Com os valores resultantes, utilizamos uma tabela adaptada de Gonçalves (2012), para avaliar a qualidade e efetividade tanto dos Estudos de Impacto, como dos critérios específicos analisados (Tabela II).

Tabela II. Classificação de qualidade e efetividade dos critérios analisados.

Escore Total Relativo	Classificação
0 – 30%	Ruim
31% – 60%	Não satisfatório
61% – 90%	Satisfatório
91% – 100%	Excelente

Para avaliar se a prática de avaliação dos EIAs considera aspectos apontados como importantes efeitos de rodovias sobre riachos pela literatura científica, utilizamos dois artigos de revisão (Spellerberg, 1998; Wheeler *et al.* 2005) como base para identificar quatro dos principais impactos ambientais considerados relevantes sobre a temática: alteração do canal do riacho, isolamento de populações e formação de barreiras, degradação de habitat e/ou alteração da profundidade e fluxo da água; poluição por sedimentos finos e os impactos diretos e indiretos decorrentes. Nesta análise, consideramos os casos em que esses aspectos apontados pela literatura apareciam nos EIA relacionados aos efeitos potenciais sobre a biota (peixes) dos

riachos e também quando mencionados no meio físico. Contudo, avaliamos se houve integração entre os dois meios. Para tanto, tabulamos o número de EIAs em que determinado aspecto foi abordado na avaliação de impactos sobre peixes. Além disso, identificamos quais eram os indicadores ambientais (p.ex., espécies sensíveis a fragmentação; características de hábitat nos riachos) ou alvos de interesse para medidas de mitigação (p.ex., populações de espécies ameaçadas) utilizados pelos EIAs para o diagnóstico e avaliação de impactos sobre a ictiofauna, assim como a frequência de EIAs em que apareciam, e se existia alguma justificativa técnica para a escolha deles durante a amostragem e avaliação.

A organização idealmente segue um fluxo com uma série de etapas (Termos de Referência, estudo de base, identificação dos impactos, previsão da magnitude, avaliação dos impactos e medidas de mitigação) (Sanchez, 2020). Portanto, avaliamos se os EIAs analisados seguiam essa ideia lógica de elaboração particularmente entre três das etapas: 1) estudos de base; 2) identificação/previsão dos impactos e 3) avaliação destes impactos mencionados. A consistência máxima ocorre quando um dado indicador presente nos Estudos de Base é utilizado novamente nas etapas de Identificação de Impactos e de Avaliação de Impactos do EIA. Portanto, o propósito era encontrar uma consistência entre as informações levantadas sobre peixes no Estudo de Base para diagnóstico ambiental, as informações apresentadas na identificação e previsão de possíveis impactos e as informações apresentadas na avaliação de impactos sobre peixes.

Resultados

Desempenho geral dos EIA

Entre os dezessete Estudos de Impacto Ambiental (EIA) que foram analisados, os resultados indicam que os impactos sobre riachos e peixes não estão sendo avaliados adequadamente. Em relação ao desempenho geral dos EIAs, 94,12% foram classificados na categoria “Ruim”, com menos de 30% no escore relativo, e 5,88% foram classificados como “Não Satisfatório”, com valores entre 31% e 60% (Tabela III); nenhum dos estudos atingiu classificação “Satisfatório” ou “Excelente”.

Tabela III. Escore Total Relativo dos EIAs avaliados;

EIAs avaliados	Escore Total Relativo
1	46,03
2	20,63
3	30,16
4	30,16
5	15,87
6	20,63
7	25,4
8	15,87
9	22,22
10	19,05
11	22,22
12	25,4
13	17,46
14	14,29
15	20,63
16	15,87
17	19,09

Desempenho dos critérios de avaliação

Tampouco na avaliação de critérios específicos houve um bom desempenho, já que em média todos os 21 critérios encontraram-se dentro da classificação “Ruim” ou “Não Satisfatório”. O critério que demonstrou maior escore relativo no conjunto de EIA foi o que avaliava a ocorrência de identificação de componentes da ictiofauna durante o estudo de base, atingindo escore relativo de 60,78% (Tabela IV), seguido do critério que avaliava se são propostas medidas de evitação ou mitigação quando identificados impactos, com escore relativo de 40,18%. Por outro lado, os critérios com pior desempenho foram todos os relativos ao uso de métricas fragmentação de habitat ou de perda de habitat local ou na rede hidrográfica dos riachos, atingindo escores entre 0% a 1,96%, assim como o critério que avaliava a existência de espacialização dos resultados. Os valores médios obtidos nos critérios específicos variaram entre 0 a 1,8 (Figura 1). A fim de verificar se pelo menos algum critério apresentou desempenho satisfatório em algum EIA, analisamos também qual o valor máximo observado na amostra de 17 EIAs, sendo o valor máximo possível de ser alcançado era 3, o qual foi obtido em quatro critérios: 1, objetivos do estudo detalhados; 7, identificação de ictiofauna no estudo de base; 16, consideração da biota para definição da área de estudo; 20, consideração da biota em alternativas locacionais (Figura 2). Porém, obtiveram escores máximos em apenas um EIA cada, mantendo um padrão geral baixo.

Tabela IV. Escore Total Relativo de cada critério avaliado

	Critérios avaliados	Escore Total Relativo
1	Objetivos detalhados	13,73
2	Fatores geradores de impacto	33,33
3	Estimativa de erosão e assoreamento	33,33
4	Estimativa de efeitos de resíduos	35,29
5	Mapeamento de riachos	31,37
6	Estado ambiental dos riachos	31,37
7	Identificação de ictiofauna	60,78
8	Perspectiva exaustiva ou dirigida	7,84
9	Estudo de base amplo ou local	21,57
10	Métrica de fragmentação local	1,96
11	Métrica de fragmentação na rede	0
12	Métrica de degradação ou alteração local	7,84
13	Métrica de perda de habitat local	1,96
14	Métrica de perda de habitat local	0
15	Fragmentação sob perspectiva da biota	25,49
16	Área de estudo considerando a biota	33,33
17	Propostas de mitigação	41,18
18	Impacto nas UC's	25,49
19	Distinção de rios e riachos	33,33
20	Consideração de alternativas locais	13,73
21	Espacialização de resultados	0

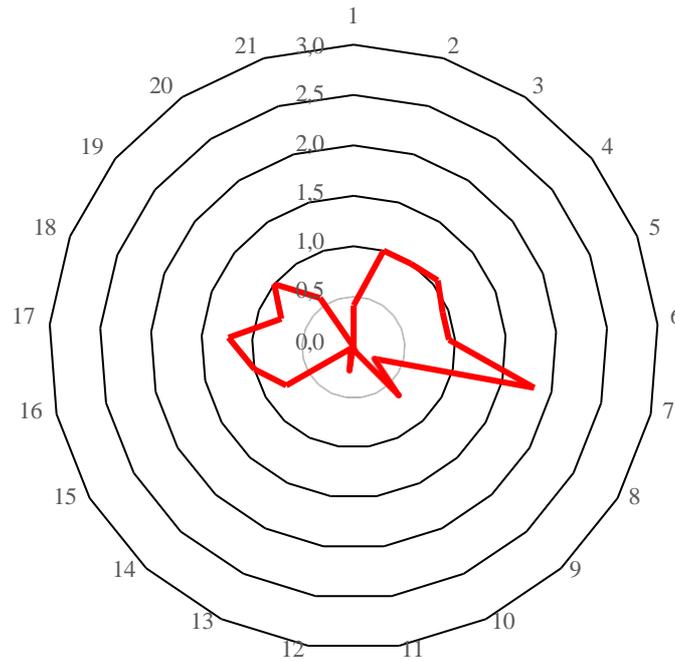


Figura 1. Desempenho médio dos EIAs em 21 critérios de avaliação da prática de análise de impacto ambiental de rodovias sobre biodiversidade em riachos. A linha vermelha varia em função do valor médio em 17 EIAs em uma escala de 0 a 3 (pior a melhor desempenho). Em nenhum critério o desempenho médio ficou acima de 2 (escala de 0 a 3), sendo que a maioria teve desempenho médio até 1. A numeração dos critérios (1 a 21) corresponde àquela encontrada no Apêndice 1.

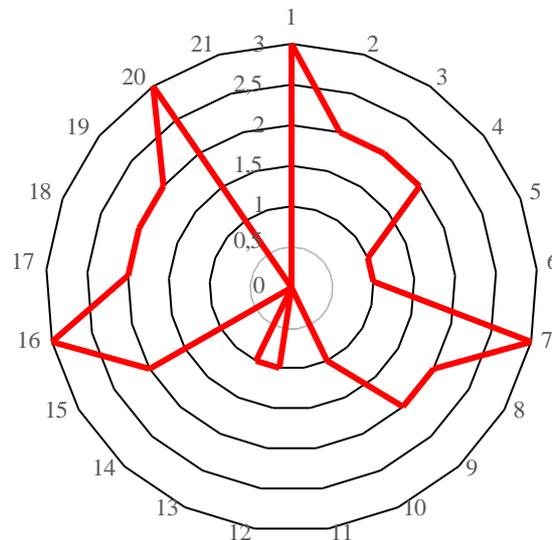


Figura 2. Desempenho máximo em cada um dos 21 critérios de avaliação da prática de análise de impacto ambiental de rodovias sobre biodiversidade em riachos. A linha vermelha varia em função do valor máximo observado em um conjunto de 17 EIAs, considerando uma escala de 0 a 3 (pior a melhor desempenho). A numeração dos critérios (1 a 21) corresponde àquela encontrada no Apêndice I.

Alterações ambientais indicadas pela literatura científica

Também observamos que, das características que a literatura aponta como importantes sob a perspectiva de impacto de rodovias sobre riachos (como alteração do canal, poluição por sedimentos finos, alteração de profundidade e fluxo da água, degradação de habitat, isolamento de populações), poucas foram consideradas nos EIA (Tabela V), e destas, todas se referiam somente ao meio físico, sem avaliação integrada com a perspectiva biótica.

Tabela V. Número de EIAs que, em suas análises de impacto sobre biodiversidade de riachos, consideraram aspectos importantes apontados na literatura científica. Cabe destacar que todos os aspectos mencionados se referem ao meio físico, sem integração com a biota

Impactos considerados importantes de serem avaliados (Spellerberg, 1998; Wheeler et al. 2005)	Nº de EIAs
Alteração do canal	4
Isolamento de populações e formação de barreiras	1
Degradação de habitat e/ou alteração da profundidade e fluxo da água	6
Poluição por sedimentos finos e os impactos diretos e indiretos decorrentes	7

Indicadores de resposta ecológica de peixes

Evidenciamos que, no conjunto de EIAs, foram utilizados 17 indicadores de resposta ecológica de peixes (Tabela VI), havendo, porém, uma grande variação no número e natureza dos indicadores empregados entre os EIA. Além disso, a maioria dos indicadores se baseia na presença ou ausência de espécies amostradas nos estudos de base, como a ocorrência de espécies endêmicas, ameaçadas, exóticas, de importância comercial e a ausência de estimativas de abundância, distribuição ou hábitat disponível. O mesmo ocorre com atributos de comunidades, como riqueza, diversidade, similaridade, entre outros, que são avaliados de forma descritiva, sem objetivo pré-estabelecido. Nenhum dos EIAs utilizou objetivamente resultados sobre indicadores do ambiente físico, como a qualidade de água ou a morfologia do canal, para avaliar potencial impacto sobre peixes.

Tabela VI. Indicadores para análise de impacto ambiental sobre biodiversidade de riachos utilizados pelos 17 EIAs sobre rodovias analisados neste estudo.

Indicadores	Número de EIAs
Espécies endêmicas	13
Espécies ameaçadas	11
Espécies de importância comercial	11
Espécies exóticas e invasoras	10
Espécies bioindicadoras	8
Espécies migratórias	8
Espécies vulneráveis	3
Espécies de risco epidemiológico	1
Espécies sensíveis	1
Espécies anuais	1
Riqueza	11
Diversidade	9
Similaridade	9
Abundância	8
Equitabilidade	7
Dominância	4

Consistência lógica entre estudo de base, identificação e avaliação de impactos

Verificamos que, na maioria dos EIAs, não há consistência explícita entre indicadores analisados nos estudos de base sobre riachos e peixes e as informações que constam nas etapas de identificação e avaliação de impactos. Dentre todos os 17 indicadores referentes à ictiofauna e aos riachos dentro do diagnóstico ambiental dos EIAs analisados, em apenas dois EIAs foi feita a previsão de possíveis impactos para um dos indicadores levantados (espécies exóticas e espécies bioindicadoras), sendo que apenas um destes EIAs realizou a etapa de avaliação dos possíveis impactos ambientais (espécies exóticas); os demais EIAs não fizeram a previsão e avaliação de impactos nos indicadores estabelecidos nos estudos de base (Tabela VII). Ficando evidente a falta de integração tanto entre as fases de desenvolvimento do Estudo, como entre o meio físico e o meio biótico.

Tabela VII. Tabela de consistência da análise de impactos ambientais de rodovias sobre biodiversidade em 17 EIAs. A consistência máxima ocorre quando um dado indicador presente nos Estudos de Base é utilizado novamente nas etapas de Identificação de Impactos e de Avaliação de Impactos dos EIAs. Observou-se que os indicadores da fase de Estudos de Base raramente são mencionados nas etapas seguintes de análise de impactos. Os números indicam o número de EIAs

Indicadores	Estudo de base	Identificação	Avaliação
Espécies endêmicas	13		
Espécies ameaçadas	11		
Espécies de importância comercial	11		
Espécies exóticas e invasoras	10	1	1
Espécies bioindicadoras	8	1	
Espécies migratórias	8		
Espécies vulneráveis	3		
Espécies de risco epidemiológico	1		
Espécies sensíveis	1		
Espécies anuais	1		
Riqueza	11		
Diversidade	9		
Similaridade	9		
Abundância	8		
Equitabilidade	7		
Dominância	4		

Discussão

Ficou evidente que a avaliação dos EIAs em relação ao impacto de rodovias sobre riachos e peixes pode ser considerada insuficiente, tanto na avaliação geral dos EIAs (Figura 1), como analisando os critérios específicos (Figura 2), a consistência lógica entre estudos de base, identificação e avaliação dos impactos (Tabela VII), assim como pelos resultados das alterações ambientais e dos indicadores, visto que não avaliam o meio biótico. Esse resultado é preocupante, pois o EIA é o principal suporte utilizado para tomada de decisão por parte de órgãos ambientais gestores, e nossos resultados apontam que todos os EIAs analisados se encontram nas categorias “Ruim” e “Não Satisfatório”, de modo que os impactos ambientais sobre riachos e peixes não vêm sendo avaliados adequadamente e, por conseguinte, medidas

de mitigação desses impactos também não estão sendo propostas e implementadas. Portanto, os resultados implicam que o processo de licenciamento de rodovias tem sido pouco efetivo para a conservação de habitats e a biodiversidade desses ecossistemas e para avaliar a viabilidade ambiental desses empreendimentos.

Os critérios com melhor desempenho dentre os analisados foram o que identificam espécies da ictiofauna de interesse especial (ameaçadas, interesse comercial, etc) presentes na área de estudo (critério 7, Apêndice 1, Figura 1), ainda assim com patamar de desempenho relativo abaixo do satisfatório (Tabela IV). Nesses casos, observamos que a maior parte dos EIAs apresentava ao menos uma lista de espécies ameaçadas e/ou migratórias, através de amostragens ou de dados secundários de outros estudos. Esse resultado é, em princípio, positivo pois espera-se que as espécies migratórias sejam muito afetadas por fragmentação de cursos d'água (Benton *et al.* 2008), assim como as espécies ameaçadas, que já se encontram em níveis críticos nos ambientes. Entretanto, os EIAs não apresentaram espacialização da ocorrência das espécies, nem mapeamento dos cursos d'água potencialmente interrompidos e tampouco avaliação de que os cruzamentos das rodovias com os cursos d'água realmente representem obstáculos para peixes (critérios 21, 5 e 10, Apêndice 1, Figuras 1 e 2), informações sem as quais não é possível avaliar o impacto potencial das rodovias, nem propor medidas ambientais no arcabouço da hierarquia de mitigação (BBOP, 2009) .

Em relação aos critérios que obtiveram os piores desempenhos, como a perda ou a fragmentação de habitat (critérios 10, 11, 12, 13 e 14, Apêndice 1, Figuras 1 e 2), que praticamente não apareceram nas avaliações, é importante que passem a receber atenção especial nos EIA, visto que são apontados como importantes por diversos autores na literatura (Forman & Alexander, 1998; Park *et al.* 2008; Robinson *et al.* 2010; Perkin & Gido, 2012; Diebel *et al.* 2015). É preocupante que esses tópicos apenas tenham sido mencionados de forma superficial e generalista nas fases de estudo de base, ainda que existam evidências de impactos

em diversas espécies de peixes, migratórios (Warren & Pardew, 1998; Vander Pluym *et al.* 2008; Nislow *et al.* 2011) e não migratórios (Camana, 2016; De Fries *et al.* 2023), pois os cruzamentos rodovia-curso d'água podem facilitar a formação de barreiras que limitam o movimento de peixes e, conseqüentemente, podem afetar a distribuição, a abundância e a persistência dos peixes no ambiente (Warren *et al.* 1998; Trombulak & Frissell, 2000; Mozzaquattro *et al.* 2020; De Fries *et al.* 2023). A movimentação tem implicações diretas no sucesso reprodutivo e sobrevivência de uma gama de espécies (De Fries *et al.* 2023).

A falta de espacialização é outro critério que se destacou negativamente pelo baixíssimo desempenho, uma vez que nenhum EIA espacializou informações relevantes no diagnóstico, na identificação ou na avaliação de impacto. Apenas dois EIAs empregaram a espacialização dos pontos de amostragem de ictiofauna de maneira descritiva, sem incluir informações de coordenadas geográficas, o que dificulta qualquer mínima possibilidade de monitoramento nos mesmos pontos no futuro. A espacialização é de suma importância, pois pode contribuir na orientação da construção da rodovia e na mitigação futura (Teixeira *et al.* 2020), portanto o mapeamento de riachos que serão impactados pela rodovia, seja por cruzamento ou proximidade, é necessário. A espacialização deve ser utilizada como base do delineamento amostral para o diagnóstico, tanto para peixes como para o ambiente físico. Esse procedimento, infelizmente não foi encontrado para avaliação de ictiofauna, porém pode ser visto no EIA da BR 392 durante o estudo de mamíferos, aves e monitoramento de atropelamento de fauna, ilustrando um pouco do que seria esperado encontrar em todas as partes do EIA (STE - Serviços Técnicos de Engenharia S.A., 2022, relatório técnico não publicado). Em mais de um EIA pode-se observar que deficiências de procedimento existentes na avaliação de impacto sobre riachos não estavam presentes nas avaliações sobre outros grupos ou componentes ambientais, sugerindo a necessidade de uma maior integração dos procedimentos de avaliação entre as equipes dos EIAs.

Em relação à amostragem de ictiofauna para o diagnóstico ambiental, usualmente foram utilizadas metodologias exaustivas, que consistem em tentativas de levantamentos completos de listas de espécies na área de influência do empreendimento (Sánchez, 2020). Observou-se que também não constavam justificativas expressas para a escolha dos sítios de amostragem na maioria dos EIA. Essa característica acaba resultando na utilização de indicadores genéricos, baseados na presença ou ausência de espécies nas amostras, assim como no emprego de metodologias que nem sempre são as mais eficientes para obtenção de dados adequados para sustentar a avaliação de impactos. Em alguns cenários, o mais recomendado seria a utilização de uma amostragem em duas etapas: primeiramente uma estratégia de amostragem no estilo guarda-chuva (abordagem exaustiva) orientada geograficamente pela sobreposição de ações potencialmente geradoras de impacto do empreendimento com a malha hidrográfica, podendo utilizar dados secundários; e posteriormente uma amostragem dedicada, orientada especificamente a alvos de interesse para medidas de mitigação (p.ex., populações de espécies ameaçadas) ou indicadores ambientais (espécies sensíveis a poluição por substâncias químicas ou fragmentação; características de hábitat físico e químico nos riachos).

A abordagem em duas etapas justifica-se pela existência de casos em que uma espécie pode não ser previamente conhecida. Entretanto, o maior desafio é a falta de direcionamento durante a preparação para as amostragens; na prática o que ocorre parece ser a seleção de poucos riachos e poucos pontos amostrais, com a utilização de uma gama de métodos amostrais sem propósito bem definido e detalhado, com objetivo de criar um inventário de espécies no ambiente, mas sem relação com um desenho amostral que considere os locais potencialmente mais afetados. Em linhas gerais, os EIAs não aplicam adequadamente diretrizes sobre amostragem em estudos de licenciamento (Ferraz, 2012; “por quê amostrar?”, “o quê amostrar?”, “como amostrar?”).

Outro ponto relevante observado foi a falta de integração entre as avaliações do meio

físico com o meio biótico, pois geralmente existem múltiplos dados coletados nos estudos de base sobre qualidade da água, características do canal e da mata ciliar, estimativas de supressão de vegetação, porém nada disso é utilizado para identificar e avaliar impactos sobre a ictiofauna ou sobre os riachos como habitat. Existem diversos estudos demonstrando a importância da vegetação ripária para as espécies de riachos, pois até mesmo os riachos com mata ripária degradada, tem maior capacidade de manter comunidades de peixes do que aqueles com vegetação totalmente suprimida (Teresa & Casatti, 2010; Casatti et al. 2012; Leite *et al.* 2015; Da Costa *et al.* 2020).

Em geral, a avaliação de impacto sobre riachos e a biota aquática nos EIAs não é realizada segundo a lógica que seria recomendável (Ferraz, 2012), em que amostragem é planejada de forma a responder a perguntas previamente estabelecidas sobre os impactos. Observamos que as avaliações são compostas de diagnósticos ambientais extensos, contudo as informações são pouco utilizadas nas fases de previsão dos impactos e são ainda menos utilizadas na fase de avaliação dos impactos, que acaba por ser rasa e insuficiente (Duarte *et al.* 2017b) para sustentar decisões de manejo efetivas. Consequentemente, as medidas de mitigação, que deveriam ser explicitadas de forma clara e detalhada, com descrição do grau de efetividade esperado (Ross *et al.* 2006), acabam sendo apenas medidas generalistas, sem referenciais espaciais adequados, pouco relacionadas aos detalhes técnicos obtidos com a amostragem e que contribuem pouco para responder a demandas efetivas de mitigação ambiental na implementação e operação dos empreendimentos.

Considerando as possíveis limitações que poderiam ser encontradas em nossa metodologia, é importante observar que apenas um analista aplicou o protocolo de avaliação dos EIA, o que pode implicar em alguma incerteza nos resultados, sendo recomendável que análises desse tipo sejam replicadas por mais de um avaliador. Entretanto, embora possamos supor que eventualmente alguns resultados pudessem diferir entre avaliadores, visto tratar-se de uma

metodologia qualiquantitativa, parece inequívoco o resultado geral de que os EIAs precisam ser aperfeiçoados em sua prática de avaliação de impactos sobre riachos e peixes, pois apesar das limitações, todos os nossos resultados apontam para essa conclusão e corroboram todas as evidências já descritas pela literatura (Glasson & Salvador, 2000; Ross et al. 2006; Gonçalves 2012; Chanchitpricha & Bond, 2013; Duarte et al. 2017a; Duarte et al. 2017b; Lacy et al. 2017; Sanchez 2020). Nesse sentido de apontar caminhos para aperfeiçoamento dos EIA, um segundo aspecto que poderia contribuir é a avaliação dos termos de referência (TR), de modo a determinar até que ponto a melhoria dos procedimentos de avaliação do impacto ambiental pode passar pela melhor elaboração dos TR. O TR, de acordo com a Lei nº 6.938/1981 da Política Nacional do Meio Ambiente, “tem o objetivo de determinar diretrizes e critérios técnicos gerais que fundamentarão a elaboração do EIA/RIMA”. Entretanto, esses documentos não foram avaliados na realização desse trabalho, mas acreditamos ser possível que alguns aspectos não sejam avaliados nos EIAs em virtude da falta de solicitação nos Termos de Referência, como já constatado em estudos como Ross *et al.* (2006).

Os resultados obtidos através deste trabalho permitiram compreender melhor e trazer luz para os pontos positivos e negativos acerca de um tema que praticamente não é discutido quando se trata de estudos de impacto de rodovias, assim como contribuir com algumas sugestões para a melhoria de estudos futuros. Destacamos que é de extrema importância uma melhor definição dos alvos e de indicadores no diagnóstico ambiental, o que envolve pré-definir indicadores de interesse e desenhar a amostragem de acordo com eles. Considerando a possibilidade de uma amostragem preliminar, no estilo guarda-chuva, e posteriormente, uma amostragem direcionada, como ocorreu no caso do EIA da BR-392, onde apesar de não haver amostragem de riachos, foram avaliados pontos específicos onde sabe-se que existe a ocorrência de peixes anuais. Nesse caso, além dos benefícios para o meio ambiente, existe o

benefício para o contratante do Estudo de Impacto e para o órgão tomador de decisão, pois reduz a utilização de tempo e de dinheiro, levando à obtenção de dados de melhor qualidade e uma maior chance de efetividade na tomada de decisão sobre medidas de manejo. A integração das atividades do meio físico e do meio biótico também é imprescindível, pois como já mencionado anteriormente, são realizados diagnósticos com muitos dados coletados, porém em poucas ocasiões esses dados são relacionados com a biota.

Os resultados mostraram ainda que os EIAs pouco incluem em suas avaliações os aspectos ambientais que a literatura científica aponta como relevantes em termos do impacto rodovias sobre riachos (Spellerberg, 1998 e Wheeler *et al.* 2005). Nos EIA, os indicadores devem ser escolhidos também em função da utilidade na identificação e na avaliação dos impactos, e não só como um mero descritor da área de estudo, e uma vez escolhidos, o seu uso no processo de identificação e de avaliação deve ser explícito e transparente (eventualmente podem ter sido utilizados no processo de avaliação realizado nos EIA, mas isso não aparece expressamente nos documentos).

A definição dos locais amostrados precisa ser justificada, e sempre que possível, seria interessante a obtenção de uma avaliação prévia do impacto do meio físico para orientar a amostragem posterior da biota. Seguir a lógica de um desenho de amostragem Before-After Control-Impact (BACI) (Ferraz, 2012). Eventualmente podem ser estabelecidos locais amostrais fora da área de influência do empreendimento (sítios regionais de referência, Stoddard et al 2006), como um comparativo futuro, pois isso auxilia a identificar padrões de alteração que eventualmente respondam a mudanças ambientais regionais não necessariamente decorrentes do empreendimento.

Considerações finais

Concluimos que existem diversos fatores influenciando a baixa qualidade dos EIAs referentes ao impacto da construção de rodovias sobre biodiversidade em riachos e sua biota (peixes), apesar das evidências conhecidas de impactos, e constatamos que alguns dos fatores passam pela falta de integração dos resultados obtidos nos diagnósticos com a avaliação, de fato, dos impactos, o que resulta em avaliações finais superficiais e não especializadas, fornecendo uma base frágil para tomada de decisão e proposição de medidas de manejo ambiental. Além disso, observamos a utilização de métodos de amostragem inadequados em grande parte dos casos e sem propósitos definidos. Isso reforça a necessidade de melhorias amplas e sistemáticas na prática dos EIAs, se quisermos garantir que os impactos sobre os riachos e a ictiofauna sejam evitados ou mitigados da melhor forma possível.

Referências

- Anderson, G. B., Freeman, M. C., Freeman, B. J., Straight, C. A., Hagler, M. M., & Peterson, J. T. (2012). Dealing with uncertainty when assessing fish passage through culvert road crossings. *Environmental Management*, 50, 462-477.
- Angermeier, P. L., Wheeler, A. P., & Rosenberger, A. E. (2004). A Conceptual Framework for Assessing Impacts of Roads on Aquatic Biota. *Fisheries*, 29(12), 19–29. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(2004\)29\[19:acffai\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(2004)29[19:acffai]2.0.co;2)
- Bager, A., & Fontoura, V. (2012). Ecologia de rodovias no Brasil—Contexto histórico e perspectivas futuras. *Ecologia de rodovias: tendências e pesquisas*. 1st edn. Editora UFLA, Lavras, Minas Gerais, 13-34.
- BBOP Business and Biodiversity Offsets Programme (2009). Biodiversity Offset Design Handbook. Washington, D.C.: BBOP - Forest Trends, Conservation International and the Wildlife Conservation Society. Disponível em: www.forest-trends.org/biodiversityoffsetprogram/guidelines/odh.pdf
- Bennett, V. J. (2017). Effects of Road Density and Pattern on the Conservation of Species and Biodiversity. *Current Landscape Ecology Reports*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0020-6>
- Benton, P. D., Ensign, W. E., & Freeman, B. J. (2008). The effect of road crossings on fish movements in small Etowah Basin streams. *Southeastern Naturalist*, 7(2), 301-310.
- Brasil. (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Diário Oficial da União. Recuperado de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm
- Brejão, G. L., Teresa, F. B., & Gerhard, P. (2020). When roads cross streams: Fish assemblage responses to fluvial fragmentation in lowland Amazonian streams. *Neotropical Ichthyology*, 18(3), 1–16. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0031>
- Camana, M. (2016). Movimento de peixes de riacho é afetado por cruzamentos de estrada? um estudo de marcação e recaptura com *Rineloricaria aequalicuspis* (Loricariidae).
- Casatti, L., Teresa, F. B., Gonçalves-Souza, T., Bessa, E., Manzotti, A. R., Gonçalves, C. D. S., & Zeni, J. D. O. (2012). From forests to cattail: how does the riparian zone influence stream fish?. *Neotropical Ichthyology*, 10, 205-214.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (BR). (1986). Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Recuperado de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>

- Conselho Nacional do Meio Ambiente (BR). (1997). Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Recuperado de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=233>
- Costa, V. (Org.). (2022). *Anuário CNT do transporte 2022: estatísticas consolidadas*. Brasília: Confederação Nacional do Transporte. Recuperado de <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Rodoviario/1-3-1-1-1-/Malha-rodovi%C3%A1ria-total>
- Chanchitpricha, C., & Bond, A. (2013). Conceptualising the effectiveness of impact assessment processes. *Environmental Impact Assessment Review*, 43, 65-72.
- Da Costa, I. D., Petry, A. C., & Mazzoni, R. (2020). Fish assemblages respond to forest cover in small Amazonian basins. *Limnologica*, 81, 125757.
- De Fries, L., Camana, M., Guimarães, M., & Becker, F. G. (2023). Road crossings hinder the movement of a small non-migratory stream fish. *Environmental Biology of Fishes*, 106(6), 1295–1311. <https://doi.org/10.1007/s10641-023-01416-y>
- De Fries, L., Camana, M., Hartz, S. M., & Becker, F. G. (2022). Heterogeneous movement by a small non-migratory stream fish. *Environmental Biology of Fishes*, 105(12), 1873-1885.
- Diebel, M. W., Fedora, M., Cogswell, S., & O'hanley, J. R. (2015). Effects of road crossings on habitat connectivity for stream-resident fish. *River research and applications*, 31(10), 1251-1261.
- Duarte, C. G., Dibo, A. P. A., & Sánchez, L. E. (2017). O Que Diz a Pesquisa Acadêmica sobre Avaliação de Impacto e Licenciamento Ambiental no Brasil?. *Ambiente & Sociedade*, 20, 261-292.
- Duarte, C. G., Dibo, A. P. A., Siqueira-Gay, J., & Sánchez, L. E. (2017). Practitioners' perceptions of the Brazilian environmental impact assessment system: results from a survey. In *Impact Assessment and Project Appraisal* (Vol. 35, Issue 4, pp. 293–309). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/14615517.2017.1322813>
- Ferreira, F. S., Solórzano, J. C. J., & Suárez, Y. R. (2023). Influence of urbanization on stream fish assemblages in three microbasins in the Upper Paraná River Basin. *Brazilian Journal of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.247384>
- Flores AM, Teixeira FZ, Becker FG (in press) Avaliação regional da pressão ambiental de rodovias sobre riachos no Rio Grande do Sul. In: Gonçalves MSS, Bastazini VAG, Andretti CB, Lanés LEK, Volcan MV (eds) *Ecologia e conservação de ecossistemas aquáticos do sul do Brasil*. USBE, Pelotas.

- Forman, R. T. T., & Deblinger, R. D. (2000). The Ecological Road-Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. In *Conservation Biology* (Vol. 14, Issue 1).
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), 207-231.
- Forman, R. T., Sperl, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., ... & Winter, T. C. (2003). Road ecology. *Science and solutions*, 482.
- Gál, B., Weiperth, A., Farkas, J., & Schmera, D. (2020). The effects of road crossings on stream macro-invertebrate diversity. *Biodiversity and Conservation*, 29(3), 729–745. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01907-4>
- Glasson, J., Neves, N., & Salvador, B. (2000). EIA in Brazil: a procedures-practice gap. A comparative study with reference to the European Union, and especially the UK. In *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 20). www.elsevier.com/locate/eiar
- Gonçalves, L. O. (2012). Avaliações de impacto ambiental de rodovias: as perguntas estão sendo respondidas?.
- Hoffman, R. L., Dunham, J. B., Survey, U. S. G., Hansen, B. P., & Service, U. S. F. (n.d.). Aquatic Organism Passage at Road-Stream Crossings-Synthesis and Guidelines for Effectiveness Monitoring. <http://www.usgs.gov/pubprod>
- Holt, D. E., & Johnston, C. E. (2015). Traffic noise masks acoustic signals of freshwater stream fish. *Biological Conservation*, 187, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.04.004>
- Januchowski-Hartley, S. R., McIntyre, P. B., Diebel, M., Doran, P. J., Infante, D. M., Joseph, C., & Allan, J. D. (2013). Restoring aquatic ecosystem connectivity requires expanding inventories of both dams and road crossings. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(4), 211–217. <https://doi.org/10.1890/120168>
- Jones, J. A., & Grant, G. E. (1996). Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. *Water Resources Research*, 32(4), 959-974.
- Lacy, S. N., Meza, F. J., & Marquet, P. A. (2017). Can environmental impact assessments alone conserve freshwater fish biota? Review of the Chilean experience. *Environmental Impact Assessment Review*, 63, 87-94.
- Laurance, W. F., & Balmford, A. (2013). A global map for road building. *Nature*, 495(7441), 308-309.
- Laurance, W. F., Clements, G. R., Sloan, S., O'connell, C. S., Mueller, N. D., Goosem, M., ... & Arrea, I. B. (2014). A global strategy for road building. *Nature*, 513(7517), 229-232.

- Leite, G. F., Silva, F. T. C., Gonçalves, J. F. J., & Salles, P. (2015). Effects of conservation status of the riparian vegetation on fish assemblage structure in neotropical headwater streams. *Hydrobiologia*, 762, 223-238.
- Ministério do Meio Ambiente (BR). (2024). Etapas do licenciamento ambiental. Recuperado de <https://pnla.mma.gov.br/etapas-do-licenciamento>
- Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. (2020). Manual de licenciamento ambiental. Recuperado de <https://www.gov.br/transportes/pt-br/pt-br/assuntos/sustentabilidade/ManualLicenciamentoAmbiental.pdf>
- Ministério dos Transportes. (2024). Portal do Ministério dos Transportes. Recuperado de <https://www.gov.br/transportes/pt-br>
- Nislow, K. H., Hudy, M., Letcher, B. H., & Smith, E. P. (2011). Variation in local abundance and species richness of stream fishes in relation to dispersal barriers: Implications for management and conservation. *Freshwater Biology*, 56(10), 2135–2144. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2011.02634.x>
- Park, D., Sullivan, M., Bayne, E., & Scrimgeour, G. (2008). Landscape-level stream fragmentation caused by hanging culverts along roads in Alberta's boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(3), 566–575. <https://doi.org/10.1139/X07-179>
- Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual review of Ecology and Systematics*, 32(1), 333-365.
- Pépino, M., Rodríguez, M. A., & Mangan, P. (2016). Assessing the detectability of road crossing effects in streams: mark–recapture sampling designs under complex fish movement behaviours. *Journal of Applied Ecology*, 53(6), 1831-1841.
- Perkin, J. S., Gido, K. B., Al-Ta'ani, O., & Scoglio, C. (2013). Simulating fish dispersal in stream networks fragmented by multiple road crossings. *Ecological Modelling*, 257, 44-56.
- Pluym, V., & Lynne, J. (2006). Impact of Bridges and Culverts on Stream Fish Movement and Community Structure.
- Rex, J. F., & Petticrew, E. L. (2011). Fine sediment deposition at forest road crossings: an overview and effective monitoring protocol. *Sed. Transport Aquatic Environ*, 5, 89-122.
- Robinson, C., Duinker, P. N., & Beazley, K. F. (2010). A conceptual framework for understanding, assessing, and mitigating ecological effects of forest roads. *Environmental Reviews*, 18(NA), 61-86.

- Ross, W. A., Morrison-Saunders, A., Marshall, R., Is, M., & Manager, E. (2006). Impact Assessment and Project Appraisal Improving quality. In Impact Assessment and Project Appraisal (Vol. 24, Issue 1). Beech Tree Publishing.
- Sánchez, L. E. (2020). Luis Enrique Sánchez - Avaliação de Impacto Ambiental - Conceitos e Métodos-Oficina de Textos (2015). Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos.
- Spellerberg, I. A. N. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(5), 317-333.
- STE - Serviços Técnicos de Engenharia S.A. (2012). Estudo de viabilidade técnico, econômica e ambiental (EVTEA) da federalização, implantação, pavimentação e adequação da capacidade com melhoria de segurança e eliminação de pontos críticos em segmentos da Rodovia BR-392/RS, trecho Santa Maria – Santo Ângelo. Relatório técnico não publicado.
- Stoddard, J. L., Larsen, D. P., Hawkins, C. P., Johnson, R. K., & Norris, R. H. (2006). Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological applications*, 16(4), 1267-1276.
- Teixeira, F. Z., Gonçalves, L. O., Biasotto, L. D., Nóbrega, R. A. D. A., & Kindel, A. (2020). Ferramentas geográficas para análise e mitigação de impactos ambientais causados por infraestruturas viárias de transporte terrestre.
- Teresa, F. B., & Casatti, L. (2010). Importância da vegetação ripária em região intensamente desmatada no sudeste do Brasil: um estudo com peixes de riacho.
- Trombulak, S. C., & Frissell, C. A. (2000). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. In *Conservation Biology* (Vol. 14, Issue 1).
- United States. Environmental Protection Agency. Nonpoint Source Control Branch, United States. Environmental Protection Agency. Office of Wetlands, & Oceans. (2005). National management measures to control nonpoint source pollution from forestry. US Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Van Hassel, J. H., Ney, J. J., & Garling Jr, D. L. (1980). Heavy metals in a stream ecosystem at sites near highways. *Transactions of the American Fisheries Society*, 109(6), 636-643.
- Vander Pluym, J. L., Eggleston, D. B., & Levine, J. F. (2008). Impacts of road crossings on fish movement and community structure. *Journal of Freshwater Ecology*, 23(4), 565-574.

- Wang, L., Lyons, J., Kanehi, P., Bannerman, R., & Emmons, E. (2000). Watershed urbanization and changes in fish communities in southeastern Wisconsin streams 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(5), 1173-1189.
- Warren, M. L., & Pardew, M. G. (1998). Road Crossings as Barriers to Small-Stream Fish Movement. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127(4), 637–644. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1998\)127<0637:rcabts>2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1998)127<0637:rcabts>2.0.co;2)
- Weaver, L. A., & Garman, G. C. (1994). Urbanization of a Watershed and Historical Changes in a Stream Fish Assemblage. *Transactions of the American Fisheries Society*, 123(2), 162–172. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1994\)123<0162:uoawah>2.3.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1994)123<0162:uoawah>2.3.co;2)

Apêndices

Apêndice I. Critérios gerais e específicos utilizados para a avaliação da desempenho dos EIAs. Todos os critérios referem-se especificamente à avaliação de impactos sobre peixes de riachos e seus ambientes.

	Critério	Enquadramento	Escore
1	Apresenta os objetivos do estudo?	Não apresenta os objetivos	0
		Apresenta apenas os objetivos gerais do estudo	1
		Apresenta os objetivos gerais e específicos do estudo de forma sucinta	2
		Apresenta os objetivos gerais e específicos de forma bastante detalhada	3
2	Apresenta os fatores geradores de impacto da obra e suas potenciais interações com biota aquática?	Não apresenta a estimativa de impactos ou não relaciona com a biota	0
		Apresenta a estimativa para poucos ou de forma geral	1
		Apresenta a estimativa de impacto em ampla escala a curto prazo	2
		Apresenta alternativas de mitigação para o impacto a longo prazo	3
3	Estima a erosão, assoreamento e distribuição de sedimentos nos corpos d'água e relaciona com biota aquática? (degradação e perda de habitat)	Não estima nenhum impacto em relação aos processos decorrentes da obra ou não relaciona com biota aquática	0
		Aborda brevemente os potenciais impactos na biota aquática e seus habitats	1
		Estima os potenciais impactos de forma ampla em curto prazo	2
		Estima os potenciais impactos de forma ampla a longo prazo, indicando medidas de mitigação	3
4	Estima possíveis efeitos diretos e indiretos de resíduos (óleos, substâncias químicas em geral...) nos riachos durante a construção, operação e pós-utilização?	Não estima nenhum impacto em relação aos processos decorrentes da obra	0
		Aborda brevemente os potenciais impactos	1
		Indica como se espera que os resíduos sejam manuseados/tratados	2
		Estima os tipos e quantidades de resíduos gerados durante a construção e operação do projeto, e a taxa em que estes serão produzidos.	3
5	Há um estudo de base com número e mapeamento dos riachos?	Não faz análise dos riachos interceptados pela obra	0
		Apresenta somente alguns riachos interceptados	1

		Apresenta todos os riachos interceptados pelo traçado da obra	2
		Apresenta todos os riachos e bacias hidrográficas interceptados e utiliza fontes de dados técnicos existentes	3
6	Há um estudo de base caracterizando o estado ambiental dos riachos?	Não faz análise dos riachos interceptados pela obra	0
		Apresenta somente alguns riachos interceptados	1
		Apresenta todos os riachos interceptados pelo traçado da obra	2
		Apresenta todos os riachos e bacias hidrográficas interceptados e utiliza fontes de dados técnicos existentes	3
7	O estudo de base identifica componentes da ictiofauna (espécies potencialmente mais sensíveis)?	Não apresenta estimativas das espécies mais sensíveis	0
		Apresenta estimativas a partir de outros estudos ou estudos observacionais	1
		Apresenta lista de espécies ameaçadas e/ou migratórias	2
		Apresenta lista de espécies ameaçadas, espécies migratórias e espécies sensíveis à fragmentação	3
8	O estudo de impacto é feito sob perspectiva exaustiva ou dedicada (cf. Sanchez)	Somente exaustiva ou dedicada	0
		Mais exaustiva	1
		Mais dedicada	2
		Mistura das duas	3
9	O estudo de base é feito de forma ampla ou local?	Apresenta baixo número de pontos amostrados	0
		Apresenta baixo número de pontos amostrados em poucos riachos	1
		Apresenta médio número de pontos em diversos riachos	2
		Apresenta bom número de pontos em todos os riachos interceptados	3
10	Há uso de algum critério, métrica de fragmentação local dos riachos? (Se preocupa se o road crossing é obstáculo)	Não utiliza	0
		Utiliza, mas para poucos dos riachos	1
		Utiliza para vários	2
		Utiliza para quase todos ou todos	3
11	Há uso de algum critério, métrica de fragmentação nos riachos e/ou rede hidrográfica completa? (Se preocupa se pode haver efeito acumulado na rede hidrográfica de cada riacho)	Não utiliza	0

	Utiliza, mas para poucos dos riachos	1
	Utiliza para vários	2
	Utiliza para quase todos ou todos	3
12	Há uso de algum critério, métrica de alteração ou degradação de habitat local dos riachos?	
	Não utiliza	0
	Utiliza, mas para poucos dos riachos	1
	Utiliza para vários	2
	Utiliza para quase todos ou todos	3
13	Há uso de algum critério, métrica de perda de habitat local dos riachos? (Se preocupa se o road crossing é obstáculo)	
	Não utiliza	0
	Utiliza, mas para poucos dos riachos	1
	Utiliza para vários	2
	Utiliza para quase todos ou todos	3
14	Há uso de algum critério, métrica de perda de habitat nos riachos e/ou rede hidrográfica completa? (Se preocupa se pode haver efeito acumulado na rede hidrográfica de cada riacho)	
	Não utiliza	0
	Utiliza, mas para poucos dos riachos	1
	Utiliza para vários	2
	Utiliza para quase todos ou todos	3
15	Foi avaliado potencial impacto de fragmentação de riachos sob perspectiva da biota aquática?	
	Não	0
	Sim, mas não apresentam métodos ou resultados para demonstrar ou sustentar a avaliação	1
	Sim e apresentam métodos e resultados, mas somente para um ou poucos riachos afetados	2
	Sim e apresentam métodos e resultados, abrangendo uma quantidade relevante dos riachos afetados	3
16	A definição da área de estudo da biota aquática para o EIA :	
	Área de estudo não considera, pelo menos não explicitamente, a biota aquática e seus habitats	0
	Somente local, onde há cruzamentos ou drenagem/aterro de habitats aquáticos	1
	leva em consideração também drenagem a jusante/montante, mas sem justificar tecnicamente os limites	2
	sim considera e justifica tecnicamente	3
17	Se identificado potencial impacto de fragmentação, foram propostas medidas de evitação/mitigação?	
	Não apresenta indicações	0
	Não apresenta indicações, apenas cita medidas genéricas	1

		Apresenta indicações de tipos OU locais com base nas informações geradas	2
		Apresenta indicações de tipos e locais com base em informações geradas no estudo	3
18	Há algum tipo de avaliação de impacto sobre biota aquática e seus habitats em unidades de conservação no entorno do empreendimento	Há UCs, mas não foram analisadas	0
		Menciona que " pode ser relevante", mas não analisa...; apenas abordagem exaustiva ou dados secundários	1
		analisa objetivamente possível causa-efeito, inclui no estudo de base,	2
		apresenta estudo de base em todas as unidades, boa amostragem, modelos ou simulações...	3
		Não apresenta indicação de áreas protegidas/ou justifica tecnicamente	não se aplica
19	O estudo faz distinção entre rios e riachos na hora da avaliação de impacto?	Não faz distinção em nenhum momento	0
		Cita distinção dos pontos amostrais, mas não distingue na avaliação	1
		Faz distinção no momento da amostragem e da avaliação de forma sucinta	2
		Faz distinção no momento da amostragem e da avaliação de forma detalhada	3
20	Em caso de implantação, o estudo considera a fauna aquática e riachos nas alternativas locais	Não considera	0
		Menciona, mas não avalia alternativas	1
		Considera e avalia as alternativas	2
		Considera, avalia e e espacializa as alternativas	3
21	Espacialização dos resultados (síntese das respostas à pergunta espacializa nos critérios correspondentes)	Não espacializa nenhum resultado relevante	0
		Espacializa poucos	1
		Espacializa 50%	2
		Espacializa todos os resultados	3