

Principais impactos ambientais e análise exploratória do novo índice de degradação ambiental para licenciamento de centrais geradoras hidrelétricas no Paraná

RESUMO

Enquanto usinas hidrelétricas de energia (UHE) são associadas a impactos de grande escala, Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) apresentam menor magnitude de impactos negativos, sendo vistas como alternativas mais sustentáveis. No entanto, CGHs ainda causam impactos ambientais variados, que podem ser divididos entre positivos e negativos e que afetam os meios físico, biótico e antrópico. Neste contexto, este artigo levantou a frequência, natureza e meio de ocorrência dos impactos ambientais de 52 estudos para licenciamento prévio de CGHs submetidos ao órgão ambiental do Paraná, entre 2017 e 2021. Juntamente, elencou-se medidas mitigatórias aos principais impactos identificados. Ainda, avaliou-se de maneira exploratória como o novo Índice de Degradação Ambiental (IDA) criado pelo órgão ambiental em 2021 pode afetar o licenciamento destes empreendimentos. Observou-se que a maioria dos impactos negativos se encontra nos meios físico (12) e biótico (10), enquanto a maioria dos impactos positivos se encontra no meio antrópico (7). Ainda, a implantação do IDA parece contribuir para a otimização do licenciamento ambiental de CGHs, devido às diferentes modalidades de licenças e estudos, baseados no porte e potenciais degradador dos empreendimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Empreendimentos Hidrelétricos; Avaliação de Impactos Ambientais; Gestão Ambiental; Barragem; Energias Renováveis.

Brunno Pedrini Brancher
brunnobrangss@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo. Paraná. Brasil.

Thomas Leonardo Marques de Castro Leal
thomas.leal@ifg.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia. Goiás. Brasil.

Lucas Willian Aguiar Mattias
lucas.mattias@ifro.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia. Porto Velho. Rondônia. Brasil.

Silvana da Silva
silvanasilva@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo. Paraná. Brasil.

Jose Gustavo Venancio da Silva Ramos
jose.ramos@ifg.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia. Goiás. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A produção energética de um país está ligada ao seu grau de desenvolvimento econômico. No âmbito brasileiro, a Oferta Interna de Energia (OIE) em 2023 apresentou um aumento de 3,5% em relação a 2022: de 303,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) para 313,9 Mtep, enquanto o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) foi de 2,9% no mesmo período. Ainda, destaca-se a utilização de fontes renováveis na matriz energética brasileira que responde por 49,1% do total. Por fim, quando se considera a matriz elétrica nacional, a energia proveniente de hidrelétricas corresponde a 58,9% do total (MME, 2024).

É importante ressaltar que qualquer fonte de geração de energia gera impactos ambientais. Conforme define o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio do Art. 1º da Resolução nº 001/1986, “considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas”. Nesse contexto, ao contrário do descrédito das grandes usinas hidrelétricas, associadas a impactos negativos em larga escala, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) possuem menor magnitude de impactos negativos e ganham espaço como uma alternativa mais sustentável na geração de eletricidade (LATINI; PEDLOWSKI, 2016).

As CGHs são estruturas com porte reduzido e capacidade de produção de energia (e impactos ambientais) inferior se comparadas às Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE). Segundo a Associação Brasileira de PCHs e CGHs (ABRAPCH), sua capacidade de produção pode ser de até 5 MW de energia e sua implementação é de pequeno custo, comparada às UHEs. Segundo dados de 2024, existiam 704 unidades de CGHs implantadas no Brasil, totalizando 923 MW de potência instalada até o referido ano (ABRAPCH, 2024; EPE, 2024).

Apesar de apresentarem menores impactos ambientais se comparadas aos empreendimentos hidrelétricos de maior porte, ainda existe uma dualidade nos impactos gerados pelas CGHs: impactos positivos, associados a benefícios socioeconômicos e socioambientais, e do outro lado, impactos negativos, que prejudicam as comunidades próximas e o meio ambiente. Nesse sentido, cabe aos órgãos ambientais determinar a viabilidade destes empreendimentos com base nas Avaliações de Impacto Ambiental (AIA), buscando evitar/mitigar os impactos negativos e potencializar os positivos. Essa atribuição está prevista na Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6.938/1981, regulamentada pela Resolução CONAMA nº 237/1997, que estabelece metodologias para classificar e quantificar os impactos gerados ao meio ambiente, através de estudos de AIA (BRASIL, 1997).

No contexto do estado do Paraná, no ano de 2021 foi promulgada a Resolução SEDEST nº 09 (PARANÁ, 2021), a qual regula o licenciamento específico de empreendimentos hidrelétricos. Nesta resolução, é introduzido o Índice de Degradação Ambiental (IDA), que classifica o potencial degradador de obras hidrelétricas a serem implantadas no estado, e determina a modalidade de licença e estudo exigidos. Mais detalhes acerca de seu cálculo são apresentados na sessão de metodologia deste artigo. Antes de sua promulgação, todos os empreendimentos hidrelétricos deviam seguir o rito de licenciamento trifásico (Licença Prévia/de Instalação/de Operação), independentemente do porte,

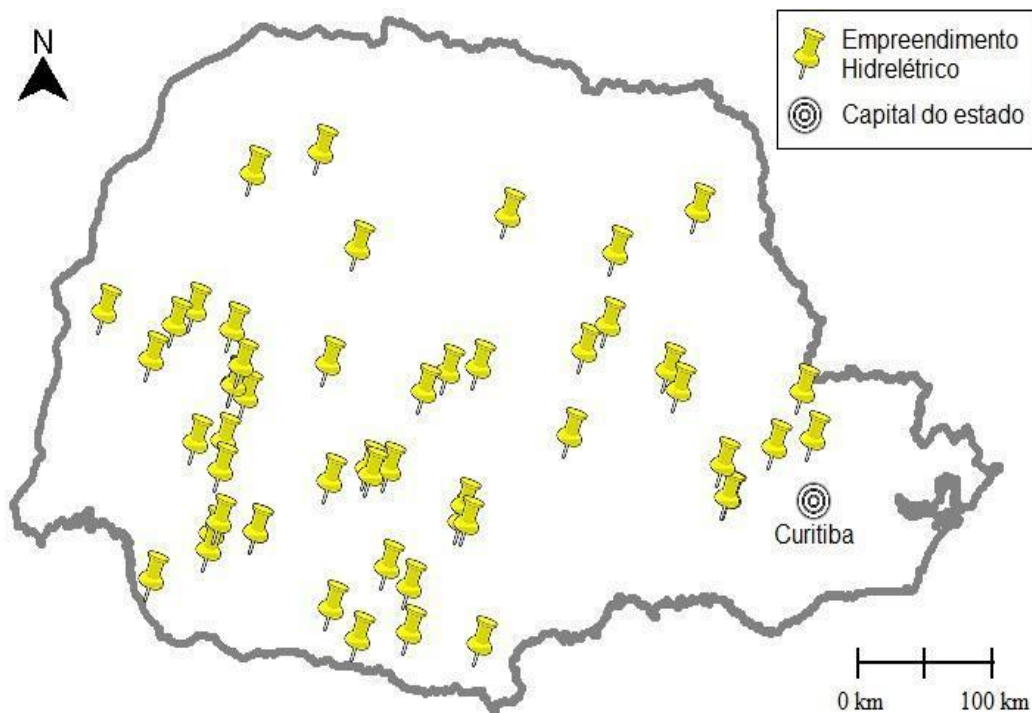
tornando, muitas vezes, morosos e financeiramente inviáveis empreendimentos com menores potenciais energéticos (e potencial degradador).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo avaliar a frequência de ocorrência dos impactos ambientais de todas as CGHs com estudos submetidos à avaliação de viabilidade ambiental no estado do Paraná disponíveis no site do Instituto Água e Terra (IAT), entre 2017 e 2021. Ao decorrer do estudo, buscou-se apresentar os impactos ambientais mais frequentes elencados nos estudos ambientais destas CGHs, juntamente com suas respectivas medidas mitigatórias, o que pode auxiliar em um melhor entendimento da extensão de impactos destes empreendimentos. Além disso, são apresentados comentários sobre o novo Índice de Degradação Ambiental (IDA) introduzido pelo órgão ambiental paranaense, e como sua implementação afetaria empreendimentos inicialmente submetidos ao licenciamento trifásico.

2 METODOLOGIA

Para a coleta de dados, foram utilizados os estudos ambientais de empreendimentos hidrelétricos submetidos ao licenciamento no estado do Paraná, os quais são disponibilizados para acesso no endereço eletrônico do Instituto Água e Terra – IAT, <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/EIA-RIMA>>. O estudo foi delimitado às CGHs que solicitaram licenciamento ambiental prévio entre os anos de 2017 e 2021, totalizando 52 empreendimentos e somando 92 MW de potência instalada. A localização geográfica dos empreendimentos no estado do Paraná está apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Localização geográfica dos empreendimentos hidrelétricos que tiveram dados coletados - Estado do Paraná



Fonte: Autoria própria (2024).

Todos os empreendimentos selecionados apresentavam Relatórios Ambientais Simplificados (RAS), dos quais foram extraídas (quando disponível) as seguintes informações:

- Potência instalada (MW);
- Área alagada (ha);
- Área de vegetação a ser suprimida (ha);
- Comprimento do sistema de adução (m);
- Comprimento do trecho de vazão reduzida (m);
- Número de propriedades afetadas;
- Impactos elencados para os meios físico, biótico e antrópico;
- Medidas mitigatórias e compensatórias para cada impacto; e
- Empresas responsáveis pelos estudos.

Os dados levantados foram sistematizados em planilha eletrônica e utilizados para análises subsequentes.

2.1 Análise da ocorrência dos impactos ambientais

Foi elaborada uma matriz de impactos ambientais contendo todos os impactos encontrados e o número de vezes em que se repetiam nos diferentes estudos (Material Suplementar). Os impactos foram divididos entre os meios de ocorrência: físico, biótico e antrópico; e entre sua natureza: positivo ou negativo, resultando em seis subconjuntos. Outros atributos dos impactos como fase de ocorrência, probabilidade, magnitude, importância, entre outros, não fizeram parte do escopo deste trabalho. Para os impactos com ocorrência maior que 50%, ou seja, presentes em mais da metade dos estudos, foi apresentada uma descrição mais detalhada, juntamente com possíveis medidas mitigadoras. Para os subconjuntos onde ocorreram menos de 3 impactos com frequência superior a 50%, foram detalhados os 3 impactos com maior número de ocorrências. A fim de otimizar a sequência lógica de apresentação do conteúdo, a descrição dos impactos não necessariamente seguiu a ordem de frequência de aparecimento.

É importante destacar que nos estudos consultados, por vezes se encontraram aspectos ambientais (definidos como elementos causadores de impactos ambientais propriamente ditos, segundo a ISO 14001 (ABNT, 2015)) elencados, e impactos ambientais que poderiam ser causados por estes; mesmos impactos com diferentes denominações, e impactos similares porém mais ou menos abrangentes (um impacto contém outro impacto citado, por exemplo). Desta forma, para evitar redundâncias e melhor representatividade, alguns dos impactos foram agregados a outros.

A partir destes resultados, avaliou-se quais os impactos mais frequentes nestes empreendimentos, além dos meios mais afetados, tanto com impactos positivos quanto negativos. Ainda, a partir dos dados referentes aos autores dos estudos (empresas consultoras), também foram avaliados como as empresas costumam elencar os impactos para diferentes empreendimentos, mas com características semelhantes.

2.2 Cálculo do índice de degradação ambiental

O cálculo do IDA consiste em uma soma com pesos distintos dos parâmetros: área alagada; área de supressão de vegetação nativa; comprimento do sistema de adução; comprimento do trecho de vazão reduzida e número de propriedades inviabilizadas para cada empreendimento, dividido pela potência gerada pelo mesmo (PARANÁ, 2021). A equação 1 mostra o cálculo supracitado.

$$IDA = (AL * 0,25/P) + ((SVI * 0,47 + SVM + SVA * 1,3) * 0,35/P) + (SA * 0,0015/P) + (TVR * 0,0015/P) + (PRI/P)$$

Onde AL representa a área alagada (ha); SVI representa a área de supressão de vegetação nativa em estágio inicial de regeneração (ha); SVM representa a área de supressão de vegetação nativa em estágio médio de regeneração (ha); SVA representa a área de supressão de vegetação nativa primária ou em estágio avançado de regeneração (ha); SA representa o comprimento do sistema de adução (canal/túnel) (m); TVR representa o comprimento de trecho de vazão reduzida (m); PRI representa o número de propriedades rurais com uso inviabilizado e P representa a potência instalada (MW). Com base no valor do IDA, potência e área alagada de cada empreendimento, são determinados a modalidade de licenciamento e o estudo exigido pelo órgão ambiental (Figura 2).

Figura 2 - Modalidades de licenciamento e estudos para hidrelétricas no Paraná

TIPO	MCH	MGH		CGH				PCH				UHE
POTÊNCIA (MW)	0 até 0,075	> 0,075 até 0,5		> 0,50 até 1		> 1 até 5		> 5 até 10		> 10 até 30		> 30
ALAGAMENTO (ha)	0	0 até 0,5		0,5 a 5		5 a 50		> 50 até 100		> 100		> 300
ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	NA	< 3	≥ 3	< 3	≥ 3	< 4	≥ 4	< 4	≥ 4	< 4	≥ 4	NA
MODALIDADE DA LICENÇA	DLAE	DLAE	LAC	LAC	LAS	LAS	LP/LI/LO	LP/LI/LO	LP/LI/LO	LP/LI/LO	LP/LI/LO	LP/LI/LO
ESTUDO	Cadastro	Cadastro	PCA (TR1)	PCA (TR1)	PCA (TR2)	PCA (TR2)	RAS (TR1)	RAS (TR1)	RAS (TR2)	EIA (TR1)	EIA (TR2)	EIA (TR3)

Fonte: Instituto Água e Terra - IAT (2021).

Ressalta-se que para a aplicação neste estudo, foi necessário promover uma adaptação na fórmula original, uma vez que nos estudos analisados a área de supressão de vegetação nativa não apresentava as parcelas em cada estágio de regeneração (inicial, médio, avançado). Desta forma, considerou-se a área de supressão nativa apontada como sendo em estágio médio de regeneração, ou seja, foi utilizado o coeficiente médio para este fator. Ainda, muitos estudos apresentaram o número de propriedades afetadas ao invés de inviabilizadas, sendo utilizado este dado para o cálculo, o que pode acarretar em um índice superior ao real. A partir dos resultados obtidos, foi possível discutir de forma exploratória como as novas classificações trazidas pela Resolução SEDEST nº 09 impactam no trâmite de licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Impactos ambientais negativos

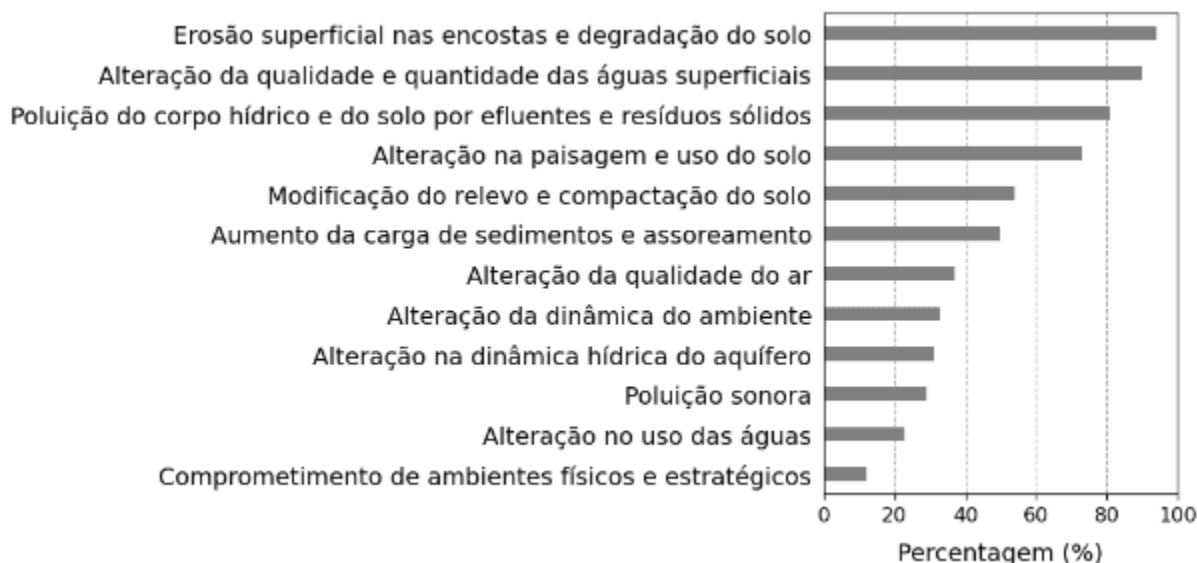
De acordo com o levantamento dos estudos dos 52 empreendimentos, foram identificados 31 impactos negativos divididos nos meios físico, biótico e antrópico. Os impactos no meio físico são caracterizados por afetar as águas, o subsolo, o ar e o clima. No meio biótico, são aqueles que afetam a fauna e a flora. Por último, no meio antrópico são afetados o uso das águas, uso do solo e atividades econômicas atingindo a sociedade local (SÁNCHEZ, 2020).

3.1.1 Impactos ambientais negativos no meio físico

Foram levantados 12 impactos negativos no meio físico, apresentados na Figura 3. Alguns dos impactos ambientais elencados nos estudos, foram reclassificados pelos autores como aspectos ambientais, uma vez que são causas de outros impactos, e não impactos propriamente ditos, como por exemplo 'disposição inadequada de resíduos' e 'geração de poeiras e resíduos sólidos' que tiveram sua frequência agregada ao impacto 'poluição do corpo hídrico e do solo por efluentes e resíduos sólidos', além disso, 'geração de poeiras' foi substituído por um novo impacto denominado 'alteração da qualidade do ar'. O impacto 'instabilidade das encostas do reservatório' foi agregado ao impacto 'erosão

superficial, nas encostas e degradação do solo'. Assim, os impactos com mais de 50% de frequência foram: erosão superficial nas encostas e degradação do solo; alteração da qualidade e quantidade das águas superficiais; poluição do corpo hídrico e do solo por efluentes e resíduos sólidos; alteração na paisagem e uso do solo; modificação do relevo e compactação do solo e; por fim, aumento da carga de sedimentos e assoreamento. Cada um desses impactos é discutido na sequência.

Figura 3 - Impactos ambientais negativos para o meio físico



Fonte: Autoria própria (2024).

Modificação do relevo e compactação do solo: durante a construção de empreendimentos hidrelétricos se faz necessária a abertura de estradas de serviço e acessos para as diferentes localidades da obra, escavação de canais e/ou túneis, além de outras operações que necessitam de movimentação de solo e terraplenagem. A passagem de veículos pesados pode contribuir para a compactação do solo. Ainda, dependendo da disponibilidade e qualidade de rocha nos arredores, estas podem ser aproveitadas como material de construção civil para a produção de concreto e/ou enrocamentos/taludes. Desta forma, considerando as estruturas civis e possíveis áreas de empréstimo e bota-fora de material, é esperado que os arredores sejam fisicamente modificados, especialmente no que tange ao relevo. A regeneração dos locais que foram utilizados apenas temporariamente durante a obra, e não terão utilidade durante a fase de operação, por meio de técnicas de conservação de solo como o plantio de espécies vegetais com alta capacidade de enraizamento pode reduzir os impactos de modificação do relevo e compactação do solo.

Erosão superficial nas encostas e degradação do solo: erosão é o processo de desprendimento e carreamento de partículas do solo causado pela água e vento, sendo influenciado pelas chuvas, infiltração, topografia do terreno, cobertura vegetal e natureza do solo (RAMOS et al., 2012). A compactação do solo mencionada no impacto anterior pode ter efeito na erosão, especialmente do tipo laminar, na qual a água não consegue infiltrar efetivamente no solo e escoar superficialmente, levando parte do solo consigo. Isto pode ser um problema ainda maior nas encostas, devido a inclinação nos canais e bordas do reservatório, as

quais mesmo dimensionadas para manter estabilidade geotécnica, ainda podem erodir devido a variações no nível d'água e ação do vento/ondas (ROMÃO et al., 2022). Assim como para o impacto anterior, a manutenção da cobertura vegetal após a conclusão da obra é essencial para prevenir a degradação do solo e a erosão em longo prazo, conforme argumentado por Verdum et al. (2018). O revestimento de superfícies mais suscetíveis a desmoronamentos com concreto projetado ou outras técnicas também pode auxiliar na estabilidade geotécnica dos taludes. Na Figura 4, pode-se ver um exemplo de canal de adução revestido com geotêxtil.

Figura 4 - Canal de adução com revestimento em geotêxtil



Fonte: Dois Vizinhos Energética (2021).

Alteração da qualidade e quantidade das águas superficiais: a maioria das CGHs analisadas opera em regime de fio d'água, no qual não há manipulação do volume de acumulação do reservatório: após seu enchimento, a vazão afluente e efluente do sistema hidrelétrico é a mesma. Entretanto, para que a energia potencial de projeto seja alcançada, normalmente a água é canalizada do barramento para um ponto mais a jusante, deixando um trecho de vazão reduzida (TVR) entre estes pontos. No Paraná, esta vazão mínima (vazão sanitária) é a Q7,10, definida como a menor vazão anual encontrada para uma média móvel de 7 dias consecutivos, para um tempo de retorno de 10 anos, com base em dados históricos locais. Assim, a alteração da quantidade de água superficial neste trecho deve ser cuidadosamente analisada. A Figura 5 ilustra um exemplo de CGH com o arranjo mencionado. Em relação a qualidade das águas superficiais, esta é impactada devido às alterações do fluxo natural de água e sedimentos. Segundo Moreira e Moreira (2022), estas alterações podem ocasionar um aumento na carga de nutrientes, sedimentos e matéria orgânica no corpo hídrico, resultando em uma deterioração da qualidade da água. Para Lemos et al. (2023), o manejo adequado do solo e da vegetação na bacia hidrográfica pode ajudar a reduzir a quantidade de nutrientes e sedimentos que adentram na barragem. O monitoramento das condições qualitativas do corpo hídrico, durante a fase de construção e operação, também são importantes para que medidas responsivas sejam tomadas em tempo hábil, caso necessário.

Figura 5 - CGH a fio d'água com arranjo contendo canal de adução e conduto forçado



Fonte: Adaptado de JCS Engenharia (2018).

Poluição do corpo hídrico e do solo por efluentes e resíduos sólidos: a poluição do corpo hídrico e do solo por efluentes e resíduos sólidos é outro impacto frequentemente levantado nos estudos analisados. De acordo com Vilas Boas et al. (2023), os resíduos sólidos, da operação da geração domiciliar da população do entorno de barragens podem resultar em impactos negativos na qualidade da água e do solo, e podem afetar a saúde humana através da presença de vetores de doenças. O mesmo acontece em relação ao lançamento inadequado de efluentes, uma vez que a transformação do rio em reservatório pode alterar sua capacidade de autodepuração. Como CGHs normalmente se localizam em áreas rurais mais isoladas, estes impactos podem ter maior possibilidade de ocorrência durante as etapas de construção, onde grandes contingentes de trabalhadores estão presentes no entorno. A fim de mitigar esses impactos, recomenda-se o tratamento de efluentes antes do lançamento final, podendo ser por tratamentos simplificados, tal qual por fossas sépticas para esgoto doméstico; a implantação de bacias de contenção cobertas para estruturas e equipamentos fixos que podem extravasar óleos e graxas; além da adoção de práticas de gestão de resíduos sólidos, com o uso de lixeiras sinalizadas e conscientização das pessoas que trabalham/residem nas proximidades.

Aumento da carga de sedimentos e assoreamento: conforme verificaram Correa, Monte e Nascimento (2020), barragens podem gerar um aumento significativo da carga de sedimentos e levar ao assoreamento do corpo hídrico, o que pode afetar negativamente a qualidade da água e a biodiversidade no local, como a sobrevivência e crescimento de peixes. Ainda, segundo Maia (2006), a presença elevada destes sedimentos pode gerar prejuízos financeiros aos operadores das usinas, devido à abrasão física causada por areias e abrasão química causada pela má qualidade da água em contato com as turbinas. Para mitigar esses impactos, são necessárias estratégias de gestão de bacias hidrográficas, como o plantio de árvores e a conservação do solo, que ajudam a reduzir a erosão e a carga de sedimentos. Além disso, estruturas de desvio de

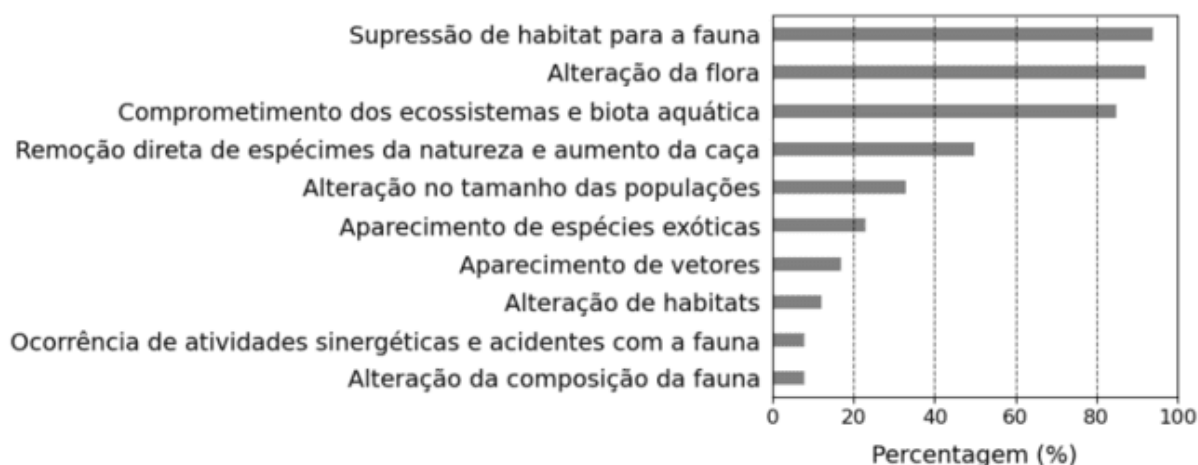
sedimentos, como diques e desarenadores, podem ajudar a direcionar os sedimentos para áreas onde não causam danos ambientais (ESLAMI et al., 2021). Por fim, caso necessário, os sedimentos podem ser removidos do fundo do reservatório por meio de dragagem, como indicado em alguns dos estudos ambientais analisados.

Alteração na paisagem e uso do solo: um dos parâmetros mais importantes na produção de energia hidrelétrica é a diferença de nível d'água (energia potencial) entre o reservatório e as turbinas. Sendo assim, quedas d'água, as quais apresentam um desnível concentrado, são muitas vezes escolhidas como pontos ótimos para a instalação desses empreendimentos. Esses locais, por conta de sua beleza cênica e até mesmo tradição popular, são muitas vezes frequentados por turistas e residentes locais, podendo a construção da barragem impactar estes usos para lazer. As modificações do uso do solo já mencionadas, especialmente a implantação das estruturas civis que outrora ali não existiam, também podem afetar a paisagem e a percepção visual humana sobre o local. Uma maneira de mitigação deste impacto é a integração dos novos elementos à paisagem existente, sendo que alguns estudos até mesmo consideram as hidrelétricas como paisagens possivelmente agradáveis. Em alguns casos, é possível que o órgão ambiental defina uma vazão mínima d'água a passar pela cachoeira, acima da vazão sanitária, para a manutenção da paisagem cênica.

3.1.2 Impactos ambientais negativos no meio biótico

Para o meio biótico, foram identificados 10 impactos negativos, apresentados na Figura 6. Os impactos 'aumento da biomassa de macrófitas', 'mortalidade de peixes', 'redução na diversidade de peixes' e 'alteração da biodiversidade fitoplanctônica' foram agregados ao impacto mais abrangente 'comprometimento dos ecossistemas e biota aquática'. De mesmo modo, os impactos 'impactos na flora durante implantação do canteiro de obras', 'remoção permanente da vegetação' e 'diminuição da densidade de vegetação' foram agregados ao impacto 'alteração da flora'. 'Afugentamento da fauna e competição em regiões adjacentes' foi integrado ao impacto 'supressão de habitat para a fauna'. Os quatro impactos mais frequentes foram: supressão de habitat para a fauna; alteração da flora; comprometimento dos ecossistemas e biota aquática e; remoção direta de espécimes da natureza e aumento da caça.

Figura 6 - Impactos ambientais negativos para o meio biótico



Fonte: Autoria própria (2024).

Alteração da flora: a flora local sofre diversas alterações no que tange a construção de empreendimentos hidrelétricos: pode ser necessária a remoção temporária de espécies vegetais para a construção do canteiro de obras, acessos e outras estruturas de apoio; os locais onde as estruturas civis permanentes serão instaladas devem ter a remoção vegetal permanente; e por fim, muitas vezes a totalidade ou parte da área florestada que será alagada também precisa ser suprimida, devido a emissão de gases que pode ser gerada caso esse material orgânico fique submerso. Essas atividades afetam a biodiversidade local e a qualidade do solo (DURIN et al., 2022). Para mitigar esses impactos, é necessário realizar um planejamento adequado das áreas que serão afetadas pela obra, como a minimização da infraestrutura instalada, uso de áreas já abertas para a implantação de canteiros, acessos, áreas de bota-fora e empréstimo e aproveitamento de estradas existentes, além de se estabelecer medidas de conservação e ações de reflorestamento (BOTELHO et al., 2017). Ainda, espécies de epífitas que porventura existam nos locais a serem suprimidos, podem ser resgatadas e transplantadas em áreas adjacentes ou de reflorestamento. É importante destacar que nos estudos analisados, o impacto relacionado à retirada de vegetação para construção de obras temporárias foi mais frequente do que o impacto que menciona remoção permanente de vegetação, o que pode ser visto de maneira positiva, e pode estar ligado ao menor porte destes empreendimentos. Por fim, é importante mencionar que as áreas suprimidas devem ser compensadas com a utilização de espécies nativas da região, preferencialmente na mesma bacia hidrográfica em que houve sua remoção.

Supressão de habitat para a fauna: a supressão de habitat para a fauna está ligada principalmente aos animais silvestres afetados pela retirada de vegetação e formação de reservatórios. Ainda, pode ocorrer a alteração de migrações e fragmentação destas populações. Normalmente, a mitigação/compensação desse impacto se dá pelo afugentamento dos animais na etapa de supressão de vegetação, resgate de animais em alguns casos (remoção direta), criação de áreas protegidas com características similares às suprimidas, a implementação de programas de monitoramento de populações animais afetadas (ALHO, 2020), além da criação de corredores ecológicos que conectam habitats fragmentados (LANGE et al., 2018). É importante ressaltar que um levantamento adequado das espécies existentes nos locais afetados, considerando variações de hábitos

(noturno/diurno, por exemplo) e sazonalidade, se faz necessário para a decisão das melhores medidas a serem tomadas.

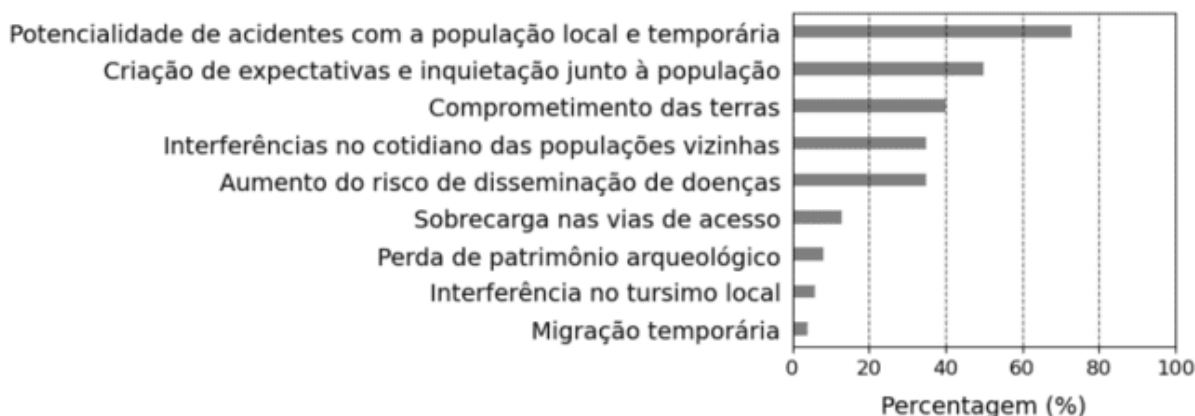
Comprometimento dos ecossistemas e biota aquática: quando um barramento é inserido em um rio, muitas vezes ocorre a transformação de um ambiente lótico para lêntico, devido a formação do reservatório. Esta mudança na dinâmica aquática tem consequências significativas para os ecossistemas ali existentes. A nova dinâmica afeta diretamente a estrutura e composição da ictiofauna, com espécies oportunistas se tornando mais prevalentes nas zonas lênticas e de transição (SCHORK e ZANIBONI-FILHO, 2018). Dependendo da qualidade da água, a formação de reservatórios também pode levar à proliferação excessiva de macrófitas aquáticas e consequente eutrofização, causando problemas ambientais e econômicos (SENNA et al., 2003). Como medidas mitigatórias, pode-se citar a limpeza periódica do reservatório para controlar o crescimento de macrófitas aquáticas e evitar a degradação da ictiofauna, além de programas de monitoramento da biota aquática. A fragmentação de espécies aquáticas devido a separação física causada pelo barramento costuma ser improvável em CGHs, uma vez que os pontos escolhidos muitas vezes já contam com barreiras físicas naturais (quedas d'água) anteriormente ao projeto. Entretanto, caso necessário, podem ser instalados sistemas de transposição de peixes, como escadas e elevadores.

Remoção direta de espécimes da natureza e aumento da caça: a principal causa e medidas mitigatórias para a remoção direta de espécimes da natureza já foram descritas no primeiro impacto desta seção. Com relação ao aumento da caça, isto se dá devido à instalação de pessoas (principalmente trabalhadores) nas proximidades da obra, além do afugentamento de animais que podem se tornar mais vulneráveis à caça (ALLA e LIU, 2021). Nos próprios estudos, foi observado que para mitigar esse impacto, as principais medidas a serem tomadas foi a conscientização da população sobre a importância da conservação ambiental e a fiscalização efetiva das áreas afetadas pelos órgãos competentes. Medeiros et al. (2021) reiteram estas mesmas medidas.

3.1.3 Impactos ambientais negativos no meio antrópico

Em relação ao meio antrópico, foram levantados 9 impactos negativos, apresentados na Figura 7. O impacto 'alteração na rotina dos moradores do entorno' foi agregado ao impacto 'interferência no cotidiano das populações vizinhas'. Os três principais impactos negativos foram: potencialidade de acidentes com a população local e temporária; criação de expectativas e inquietação junto à população e; comprometimento das terras.

Figura 7 - Impactos ambientais negativos para o meio antrópico



Fonte: Autoria própria (2024).

Potencialidade de acidentes com a população local e temporária: segundo Ascila et al. (2017), as hidrelétricas apresentam riscos de acidentes, como inundações, deslizamentos de terra, rompimento da barragem, descargas elétricas e incêndios. Ressalta-se que estes riscos podem diferir durante as fases de construção e de operação. Na fase de construção, a concordância com boas práticas de segurança do trabalho, presença de pessoal devidamente treinado e sob supervisão pode mitigar estes riscos. Além disso, a sinalização e vigilância para evitar que pessoas alheias ao empreendimento tenham acesso também pode colaborar para aspectos de segurança. No que diz respeito a fase de operação, Balbi (2008) recomenda a adoção de inspeções regulares, monitoramento contínuo da estrutura, sistemas de alerta de emergência e planos de evacuação, além de envolver a comunidade local e os trabalhadores no processo de planejamento e implementação da obra. O uso de novas tecnologias, como drones e sistemas de inteligência artificial, também pode contribuir para a prevenção e mitigação de acidentes em barragens e hidrelétricas (DE MELLO et al., 2021, ASSAAD e EL-ADAWAY, 2020). O avanço das mudanças climáticas também apresenta novos desafios para a segurança das barragens, uma vez que eventos extremos podem ser mais frequentes e severos (CHOI et al., 2020).

Criação de expectativas e inquietação junto à população: desde a fase de estudos iniciais, hidrelétricas tendem a gerar expectativas e inquietação na população local, em relação aos impactos socioambientais decorrentes dessas obras e pela possibilidade de precisarem deixar suas moradias. Para mitigar esses impactos, é importante garantir a consulta e participação da comunidade no processo de planejamento e implementação da obra. Mesmo que a legislação não exija o rito de audiências públicas em empreendimentos de menor porte como CGHs, as resoluções que regem o licenciamento de hidrelétricas no estado do Paraná determinam a apresentação de formulários constando a ciência dos moradores das propriedades que venham a ser afetadas, além da publicidade dos pedidos de licença em Diário Oficial e jornais de grande circulação (PARANÁ, 2021). Da mesma forma, é fundamental que a realocação, se necessária, seja realizada em comum acordo com as comunidades e as compensações financeiras sejam justas e devidamente realizadas. Durin et al. (2022) ressalta que cuidados especiais devem ser tomados quando se tratam de populações tradicionais, como indígenas. No âmbito nacional, ainda podem ser citados quilombolas, ribeirinhos e faxinais,

por exemplo, os quais normalmente apresentam regramentos específicos de contato mediante órgãos intervenientes (BRASIL, 2019).

Comprometimento das terras: Segundo Ty, Trieu e Minh (2015), as hidrelétricas podem afetar negativamente a produção agrícola e pecuária, com a inundação de áreas produtivas, alterações no regime hídrico e impactos na qualidade da água. Demarco et al. (2020) destacam que o comprometimento das terras agricultáveis por causa da construção de barragens pode resultar em perda de renda e redução da qualidade de vida das comunidades rurais. De acordo com Carvalho et al. (2015), a implementação de práticas de manejo do solo se torna uma estratégia eficaz para minimizar os impactos na agricultura local. A adoção de técnicas como a plantação de vegetação de cobertura e a adoção de práticas de cultivo mínimas, pode melhorar a qualidade do solo e reduzir a erosão causada pelas alterações no regime hidrológico do rio. Além disso, práticas rurais sustentáveis, como a agricultura de precisão e a rotação de culturas, podem colaborar para o aumento da produtividade agrícola e a reduzir a dependência dos agricultores em relação às áreas afetadas pela barragem.

3.2 Impactos ambientais positivos

Nos 52 estudos analisados, foram levantados 10 impactos positivos divididos nos meios físico, biótico e antrópico.

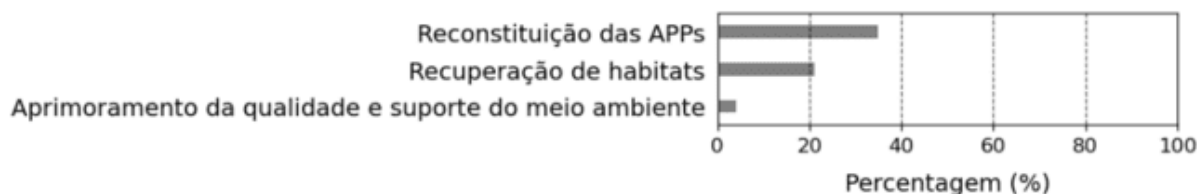
3.2.1 Impactos ambientais positivos no meio físico

Não foram encontrados impactos positivos no meio físico em nenhum dos estudos analisados. Desta forma, a partir desses estudos, entende-se que um empreendimento hidrelétrico não gera nenhum benefício para o meio físico das áreas afetadas. Contudo, Demarco, Cantoni e Passini (2017), em um estudo de caso para uma CGH localizada no estado do Rio Grande do Sul, afirmam que a regularização da vazão a montante do reservatório é um impacto positivo do meio físico, pois dispõe de água para as populações ribeirinhas mesmo em períodos de seca, em que os níveis do rio costumam ser menores.

3.2.2 Impactos ambientais positivos no meio biótico

Em relação ao meio biótico, foram identificados 3 impactos positivos (Figura 8). Observa-se que os dois impactos mais frequentes estão ligados à recuperação e reconstituição do meio ambiente ao entorno das CGHs. Desta forma, pode-se inferir que em ambientes já bem preservados estes não seriam elencados. De forma análoga, pode-se inferir que as áreas afetadas pelos empreendimentos levantados não apresentavam perfeitas condições no que tange à faixas de APP e habitats para a fauna.

Figura 8 - Impactos ambientais positivos para o meio biótico



Fonte: Autoria própria (2024).

Reconstituição das APPs: com o avanço agropecuário tradicionalmente observado no país é frequente que áreas de preservação permanente (APPs) sejam desmatadas para uso de plantio e pastagens (REIS et al., 2009). Com a construção do lago artificial das hidrelétricas, os regramentos ambientais exigem a recomposição dessas áreas, e os programas ambientais apresentados normalmente preveem sua proteção e monitoramento. De acordo com Nichett et al. (2022), o Código Florestal define que a faixa de APP deve ser de 30 a 100 m em áreas rurais, porém existe certa subjetividade na medida exata para cada local. No estado do Paraná especificamente, a faixa exigida pelo órgão ambiental é calculada pela metodologia de Dias (2001), baseada em formulações matemáticas reconhecidas e na utilização de Sistemas de Informações Geográficas (PARANÁ, 2015). Isto pode ser visto de maneira benéfica, uma vez que é garantida uma faixa adequada para o desenvolvimento da fauna e proteção do corpo hídrico, além de que a perda de propriedade devido às desapropriações de terra se restringem ao mínimo necessário. Assim, fomenta-se um equilíbrio entre os impactos nos meios antrópico e biótico.

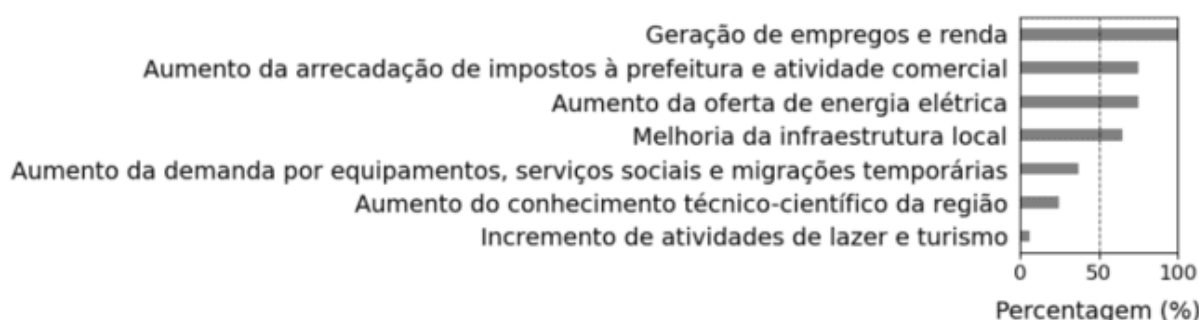
Recuperação de habitats: tanto a manutenção da faixa de APP quanto às áreas de compensação ambiental tendem a promover a recuperação dos habitats naturais afetados pela construção do empreendimento. Segundo Durin et al. (2022), a restauração ecológica para hidrelétricas pode resultar na recuperação da flora e fauna, restauração do solo, redução da erosão, e na melhoria da qualidade da água. Como maneira de potencialização deste impacto, pode-se citar a utilização de espécies nativas e de árvores frutíferas para a recomposição das áreas e atração da fauna.

Aprimoramento da qualidade e suporte do meio ambiente: o aprimoramento da qualidade e suporte do meio ambiente é um aspecto importante no contexto de obras hidrelétricas. De acordo com dados de Normyle e Pittock (2020), a construção desse tipo de obra pode impactar negativamente a qualidade da água e do ar, bem como a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. No entanto, a adoção de práticas sustentáveis e de tecnologias ambientalmente amigáveis pode minimizar esses impactos e promover a conservação do meio ambiente. Junto a isso, a implementação de programas de monitoramento ambiental e de gestão ambiental pode ajudar a prevenir ou mitigar impactos ambientais adversos (JESUS et al., 2021). Muitas vezes os relatórios de monitoramento ambiental gerados são disponibilizados para o público geral, contribuindo para a conscientização e informação da população. A colaboração entre as empresas responsáveis pelas obras, o governo e a sociedade civil pode promover a implementação de práticas sustentáveis e garantir a proteção do meio ambiente, conforme destacado por Lambin e Thorlakson et al. (2018).

3.2.3 Impactos ambientais positivos no meio antrópico

Para o meio antrópico, obteve-se 7 impactos positivos, apresentados na Figura 9. Observa-se, assim, que os impactos positivos de empreendimentos hidrelétricos estão fortemente alocados no meio antrópico. O impacto ‘melhoria do sistema viário’ foi agregado ao impacto ‘melhoria da infraestrutura local’. Os impactos mais frequentes foram: geração de empregos e renda; aumento da oferta de energia elétrica; aumento de arrecadação de impostos à prefeitura e atividade comercial e; melhoria da infraestrutura local.

Figura 9 - Impactos ambientais positivos para o meio antrópico



Fonte: Autoria própria (2024).

Geração de empregos e renda: com base em dados apresentados pela ABRAPCH (2021), a construção de CGHs geram em média cerca de 160 empregos diretos. Dados apontados por Hydro Brasil (2023), para a construção de 3 CGHs e 4 PCHs indicam média similar. Os empregos nas fases de construção podem assimilar pessoal já qualificado de regiões próximas, tanto como podem qualificar novos trabalhadores, os quais podem ter mais oportunidades após a finalização da fase de obra. Ainda, faz-se necessária a presença de trabalhadores para a operação, manutenção e segurança do empreendimento ao longo de sua vida útil. Por fim, o aquecimento da economia e comércio local por esses novos trabalhadores e na aquisição de materiais para a construção do empreendimento podem gerar empregos indiretos adicionais.

Aumento da oferta de energia elétrica: o aumento da oferta de energia elétrica, seja para uma atividade local ou injeção na rede nacional é a razão principal para a construção de empreendimentos hidrelétricos. Essas obras podem gerar eletricidade considerada limpa e renovável a partir do fluxo e queda d'água, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa por outras fontes de energia concorrentes. A potencialização deste impacto pode se dar com a escolha dos arranjos mais energeticamente eficientes, e o comprometimento com boas práticas de engenharia desde o projeto até a construção, operação e manutenção, reduzindo perdas energéticas.

Aumento de arrecadação de impostos à prefeitura e atividade comercial: o primeiro impacto citado pode ter um efeito sinérgico com a arrecadação de impostos para a prefeitura, uma vez que um maior número de pessoas empregadas tende a aumentar o consumo de produtos e serviços nas áreas próximas. A receita fiscal gerada pode ser usada para investir em serviços públicos, infraestrutura e desenvolvimento econômico. Assim, comunidades que vivem próximas às barragens e hidrelétricas podem se beneficiar economicamente da

geração de energia hidrelétrica, desde que haja um planejamento adequado para a distribuição dos recursos gerados (SGARBI, 2019).

Melhoria da infraestrutura local: ainda dentro do contexto apresentado anteriormente, além das melhorias na infraestrutura impulsionadas pela arrecadação de impostos, as áreas rurais nas proximidades do empreendimento podem ter melhorias, principalmente no sistema viário, como contrapartidas pelos impactos gerados e acesso ao empreendimento, o que impacta a qualidade de vida e acessibilidade da comunidade local.

3.3 Influência das empresas consultoras

Dentre os 52 estudos analisados, houve 21 empresas consultoras responsáveis pela elaboração dos mesmos. Dessas empresas, a empresa A foi responsável por 15 estudos (29%), a empresa B por 8 estudos (15%), a empresa C por 6 estudos (12%), a empresa D por 3 estudos (6%), às empresas E, F, G responsáveis por 2 estudos cada (4%) e as 14 demais empresas responsáveis por 1 estudo cada (2%). Notou-se que essas empresas consultoras costumam adotar impactos padrões para a apresentação nos estudos, os quais variam de magnitude para os diferentes empreendimentos. Tal comportamento pode ter influenciado a frequência de aparecimento dos impactos, mostrada nas seções anteriores. Entretanto, a padronização de impactos com possibilidade de ocorrência pode ser vista como algo benéfico, levando em consideração a duplicidade de mesmos impactos com diferentes nomes encontrados nos diferentes estudos. A Resolução SEDEST 09 (PARANÁ, 2021) traz em seus anexos uma matriz de impactos ambientais padrão, a ser utilizada como referência aos consultores, o que possivelmente mitiga tais diferenças.

3.4 Cálculo do Índice de Degradação Ambiental para os empreendimentos

Dentre as 52 CGHs analisadas, apenas 7 estudos apresentaram os dados necessários para se calcular o IDA (Tabela 1). Apesar da ausência destes dados nos RAS, ressalta-se que o cálculo do IDA não era previsto quando da submissão dos estudos analisados, e que estes dados podem ter sido informados ao órgão ambiental em outros documentos, não disponíveis para acesso público. Por meio da tabela, é possível classificar os empreendimentos em diferentes modalidades de licenças e estudos requeridos (mais ou menos complexos). Ressalta-se que antes da promulgação desta Resolução, todos os empreendimentos deveriam seguir o rito de licenciamento trifásico, constituído de Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação. Além disso, o estudo a ser apresentado deveria ser o RAS. Na Tabela 1, os TR1 ou TR2 apresentados na coluna Modalidade de licença dizem respeito ao Termo de Referência a ser seguido para a confecção dos estudos, sendo TR2 mais detalhado que TR1.

Tabela 1 - Cálculo IDA para os empreendimentos hidrelétricos

Empreendimento	Pot. instalada (MW)	Propriedades afetadas ¹	Comp. TVR (m)	Comp. do sistema de Adução (m)	Área de supressão vegetal (ha) ²	Área alagada (ha)	IDA	Modalidade de licença e estudo	Tipo
CGH Avecon	1	3	2.000	1.890	4,4	0,34	10,5	LAS PCA (TR2)	CGH
CGH Cascata 1	1	2	1.830	987	0,26	0,21	6,4	LAS PCA (TR2)	CGH
CGH Cavernoso V	5	12	1.100	253	41,76	76,5	9,5	LI/LO/LP RAS (TR1)	PCH
CGH Curiúva I	3	1	350	260	1,08	0,86	0,8	LAS PCA (TR2)	CGH
CGH do Cerne	2	2	1.264	1.474	5,74	3,34	3,9	LAS PCA (TR2)	CGH
CGH Lira Meirelles	1,6	4	0	0	21,4	1,09	7,4	LI/LO/LP RAS (TR1)	CGH
MCH Perdoncini	0,075	1	150	0	0	0	16,3	DLAE Cadastro	MCH

1Propriedades inviabilizadas no IDA original; 2Considerado como estágio médio de regeneração. Fonte: Autoria própria (2024).

Para a CGH Avecon e Cascata 1, a modalidade de licença se torna Licença Ambiental Simplificada (LAS) e o estudo necessário para sua aprovação é o Plano de Controle Ambiental (PCA). Devido ao fato de sua potência estar entre 0,5 e 1 MW, sua área alagada estar entre 0,5 e 4,4 ha e seu IDA ser maior ou igual à 3. A LAS aprova em um só documento a concepção, localização, instalação e operação de um dado empreendimento (PARANÁ, 2021). Assim, considerando o estudo ambiental simplificado e o licenciamento unificado, espera-se menos burocracia e custos para o empreendedor, além de maior celeridade no processo.

Em conta a CGH Cavernoso V, considerada como CGH pela potência instalada, se classifica como PCH, pois sua área alagada é superior a 50 ha. Dito isto, sua modalidade de licença e estudo se mantém como LP/LI/LO com estudo ambiental RAS.

Observa-se que a CGH Curiúva 1 tem área alagada e IDA passíveis de licenciamento via Licença Ambiental por Adesão e Compromisso (LAC), porém, sua potência maior que 1 MW acaba sendo o dado mais restritivo, sendo possivelmente enquadrada para o licenciamento via LAS. Embora o estudo ambiental continue sendo o PCA, o termo de referência (TR) necessário muda de TR1 para TR2, sendo este último mais detalhado em relação ao primeiro. Considerando a reduzida área alagada e IDA, talvez seja questionado porque a potência acaba sendo determinante neste caso. Entretanto, vale lembrar que o IDA é calculado com parâmetros divididos pela potência, ou seja, é relativo, podendo os valores absolutos serem consideráveis, especialmente considerando a elevada potência do empreendimento mencionado.

A CGH do Cerne é classificada para a mesma licença e estudos do que a CGH Curiúva I, embora também tenha uma área alagada menor que a considerada para esta categoria. A CGH Lira Meirelles, devido a seu valor de IDA superior a 4, continua sendo enquadrada para o licenciamento trifásico e estudo ambiental RAS.

Por fim, a CGH Perdoncini se classifica agora como Microcentral Hidrelétrica (MCH), devido a sua potência de 0,075 MW e ausência de área alagada. Apesar do resultado estar presente na Tabela 1, o cálculo do IDA não é aplicável para esses tipos de empreendimentos pois sua potência tem valor muito reduzido, influenciando a altos índices do IDA de acordo com a formulação para o seu cálculo. Observa-se que o IDA, calculado de maneira exploratória para este empreendimento, é o maior em relação aos demais, porém, um empreendimento deste porte não apresenta impactos ambientais muito significativos. Sua modalidade de licença é a Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual (DLAE), sendo que ao invés de um estudo ambiental, o empreendedor precisa apenas realizar um cadastro apresentando alguns documentos ao IAT.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foi realizado o levantamento dos impactos ambientais de todas as centrais geradoras hidrelétricas licenciadas no Paraná entre 2017 e 2021, com intuito de trazer à luz quais destes impactos são elencados com maior frequência e quais as principais metodologias para sua mitigação/potencialização.

Dentre os impactos negativos mais frequentes, destacam-se para o meio físico erosão superficial nas encostas e degradação do solo e alteração da qualidade e quantidade das águas superficiais. Para o meio biótico, destacam-se supressão de habitat para a fauna e alteração da flora. Todos estes impactos foram levantados em mais de 90% dos empreendimentos. Para o meio antrópico, o impacto mais frequentemente levantado foi potencialidade de acidentes com a população local e temporária, presente em 73% dos estudos. A maioria destes impactos pode ser mitigada por meio da recuperação da área vegetal no entorno do empreendimento e em áreas de compensação ambiental, monitoramento de áreas mais suscetíveis a erosão, e de espécies animais e vegetais.

Não foi identificado nenhum impacto positivo para o meio físico e apenas três para o meio biótico, sendo o mais frequente a reconstituição das APPs, presente em 35% dos estudos. O único impacto positivo com mais de 90% de frequência nos estudos é relacionado ao meio antrópico, geração de empregos e renda, relacionado à capacidade de um empreendimento hidrelétrico de gerar postos de trabalho, outros impactos neste meio estão relacionados ao aquecimento da economia local, arrecadação de impostos e oferta de energia elétrica.

A partir da Resolução SEDEST Nº 09, não é mais exigido que todas as hidrelétricas sigam o rito de licenciamento trifásico (LP/LI/LO). A partir do novo regramento, o trâmite de licenciamento é definido de acordo com características do empreendimento, bem como do cálculo de um Índice de Degradação Ambiental, o IDA. Das sete hidrelétricas com informações suficientes para o cálculo do IDA, duas delas foram reclassificados (PCH e MCH), simplificando o licenciamento ambiental e custos envolvidos para aquelas de menor porte. Assim, acredita-se que o novo regramento fomenta a instalação de empreendimentos de

menor impacto degradador, gerando aumento da oferta de energia de fontes renováveis.

Main environmental impacts and exploratory analysis of the novel environmental degradation index for small hydropower plants permitting in the state of Paraná

ABSTRACT

While hydroelectric power plants (UHE) are associated with large-scale impacts, Small Hydroelectric Power Plants (CGHs) have a lower magnitude of negative impacts and are seen as more sustainable alternatives. However, CGHs still cause various environmental impacts, which can be divided into positive and negative, affecting the physical, biotic, and anthropic environments. In this context, this paper analyzed the frequency, nature, and area of occurrence of environmental impacts from 52 studies for preliminary licensing of CGHs submitted to the environmental agency in Paraná, between 2017 and 2021. Additionally, mitigation measures for the main identified impacts were listed. Furthermore, an exploratory assessment was conducted on how the new Environmental Degradation Index (IDA), created by the environmental agency in 2021, might affect the licensing of these projects. It was observed that most negative impacts are found in the physical (12) and biotic (10) areas, while most positive impacts are in the anthropic area (7). Also, the implementation of the IDA appears to contribute to the optimization of the environmental permitting of CGHs, due to the different types of licenses and studies, based on the sizes and degradation potential of the projects.

KEYWORDS: Hydroelectric Projects; Environmental Impact Assessment; Environmental Management; Dam; Renewable Energy.

REFERÊNCIAS

- ABRAPCH. Associação Brasileira de PCHs e CGHs. Número PCHs e CGHs em operação no Brasil? 2024. Disponível em: <<https://abrapch.org.br/faq/numero-pchs-e-cghs-em-operacao-no-brasil/>>.
- ABRAPCH. Associação Brasileira de PCHs e CGHs. Pequenos projetos de geração elétrica hidráulica tem potencial de gerar mais de 1 milhão de empregos no Brasil. 2021. Disponível em: <<https://abrapch.org.br/2021/01/pequenos-projetos-de-geracao-eletrica-hidraulica-tem-potencial-de-gerar-mais-de-1-milhao-de-empregos-no-brasil/>>.
- ALHO, Cleber JR. Hydropower dams and reservoirs and their impacts on Brazil's biodiversity and natural habitats: a review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, v. 6, n. 3, p. 205-215, 2020.
- ALLA, Yousra Mohamed Khir; LIU, Lee. Impacts of dams on the environment: a review. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, v. 6, n. 1, 2021.
- ASCILA, Romanas; HARTFORD, Desmond ND; ZIELINSKI, P. Andy. Operational Safety of Dams and Hydropower Installations. In: *Geo-Risk*. 2017. p. 158-167.
- ASSAAD, Rayan; EL-ADAWAY, Islam H. Evaluation and prediction of the hazard potential level of dam infrastructures using computational artificial intelligence algorithms. *Journal of Management in Engineering*, v. 36, n. 5, p. 04020051, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 14001:2015. Sistema de gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BALBI, Diego Antonio Fonseca. Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para imundações induzidas por barragens: estudo de caso: Barragem de Peti-MG. 2008. 336 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- BOTELHO, Anabela et al. Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 70, p. 896-904, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial da União. Brasília-DF, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 237 de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 1997.

BRASIL. Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da Organização Internacional do Trabalho - OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília-DF, 2019.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília-DF, 2000.

CARVALHO, Joseane Carina Borges de et al. Recovery of an oxisol degraded by the construction of a hydroelectric power plant. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 6, p. 1776-1785, 2015.

CHOI, Ji-Hyeok et al. Resolving emerging issues with aging dams under climate change projections. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 146, n. 5, p. 04020025, 2020.

CORREA, Edinelson Saldanha; MONTE, Christiane; DO NASCIMENTO, Thiago Shinaigger Rocha. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.1, p.260-273, 2020.

DE MELLO, Alexandre R. et al. Concrete Dam Inspection with UAV Imagery and DCNN-based Object Detection. In: 2021 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST). IEEE, 2021. p. 1-6.

DEMARCO, Carolina Faccio et al. Attributes and Magnitude of the Socio-Environmental Impacts in Environmental Impact Study and Environmental Impact Report (EIS/EIR) of two small Hydroelectric Power Plants. *Ciência e Natura*, v. 42, p. e22, 2020. DOI: 10.5902/2179460X40368.

DEMARCO, Jessica de Oliveira.; CANTONI, Fernanda; PASSINI, Aline Ferrao Custodio. Estudo de impacto ambiental em uma pequena central hidrelétrica. Revista DAE, n. 209, v. 66, 2018. DOI: 10.4322/dae.2017.019.

DIAS, Pedro Luiz Fuentes. Estudo e proposição de parâmetros para a definição de áreas de preservação permanente ciliares em reservatórios. 2001. 138p. Dissertação (Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo) UFPR. Curitiba, Paraná, 2001.

DOIS VIZINHOS ENERGÉTICA. CGH Dois Vizinhos. 2021. Disponível em: <<http://cghdoisvizinhos.com.br/>>.

DURIN, Xavier O.'neal et al. A comprehensive review of the environmental impacts of hydropower projects in Sarawak, Malaysia. Future Energy, v. 1, n. 3, p. 1-10, 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024. 2024. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>>.

ESLAMI, Vahideh et al. Multi-criteria decision-making approach for environmental impact assessment to reduce the adverse effects of dams. Water Resources Management, v. 35, n. 12, p. 4085-4110, 2021.

HYDRO BRASIL. Hidro Geração vai instalar sete centrais hidrelétricas com mais de mil empregos diretos. 2023. Disponível em: <<https://www.hydrobrasil.com.br/post/hidro-gera%C3%A7%C3%A3o-vai-instalar-sete-centrais-hidrel%C3%A9tricas-com-mais-de-mil-empregos-diretos>>.

IAT. Instituto Água e Terra - IAT. Licenciamento de atividades específicas. 2021. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Licenciamento-de-atividades-especificas#collapseCollapsibleM2F54MOUYK5KH>>.

JCS ENGENHARIA. Relatório Ambiental Simplificado (RAS) Central Geradora Hidrelétrica CGH Cotegipe – PR. Jaraguá do Sul, 2018.

JESUS, Mariana Silva de et al. Métodos de avaliação de impactos ambientais: uma revisão bibliográfica. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 38039-38070, 2021.

LAMBIN, Eric F.; THORLAKSON, Tannis. Sustainability standards: Interactions between private actors, civil society, and governments. Annual Review of Environment and Resources, v. 43, p. 369-393, 2018.

LANGE, Katharina et al. Basin-scale effects of small hydropower on biodiversity dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 16, n. 7, p. 397-404, 2018.

LATINI, Juliana Ribeiro; PEDLOWSKI, Marcos Antonio. Examinando as contradições em torno das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fontes sustentáveis de energia no Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 37, 2016.

Lemos et al. (DES)CONECTIVIDADE HIDROLÓGICA AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO DUAS BOCAS (ES). *Caminhos de Geografia Uberlândia* v. 24, n. 94 ago./2023 p. 79–98. DOI: 10.14393/RCG249465806.

MAIA, Adelenia Gonçalves. As consequências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens. 2006. 271p. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 2006.

MEDEIROS, Adriana Francisca de; SILVA, Adnilson de Almeida; DE ATHAYDE, Simone de Ferreira. A escola karitiana: desafios e perspectivas no contexto de impactos socioambientais das usinas hidrelétricas do Madeira. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 8, n. 1, p. 370-387, 2021.

MME. Ministério de Minas e Energia. BEN 2024 | Relatório Síntese | Ano base 2023. 2024 Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf>.

MOREIRA, Gardjany da Costa; MOREIRA, Gleidiany. Determinação do índice de qualidade de água da barragem do bananal no município de Gurupi-To. *Conjecturas*, v. 22, n. 15, p. 163-175, 2022.

NORMYLE, Anna; PITTOCK, Jamie. A review of the impacts of pumped hydro energy storage construction on subalpine and alpine biodiversity: lessons for the Snowy Mountains pumped hydro expansion project. *Australian Geographer*, v. 51, n. 1, p. 53-68, 2020.

PARANÁ. IAP – Instituto Ambiental do Paraná. Portaria nº 69, de 28 de abril de 2015. 04 de Maio de 2015.

PARANÁ. SEDEST, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná. Resolução SEDEST 09 - 23 de Fevereiro de 2021, 2021. Disponível em:
<<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=245470&indice=1&totalRegistros=37&anoSpan=2021&anoSelecionado=2021&mesSelecionado=0&isPaginado=true>>.

RAMOS, Yoly Souza et al. Degradação física das áreas de entorno do reservatório da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga, PE BRASIL. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 5, p. 30, 2012.

REIS, Luiz Carlos; REIS, Teresinha Esteves da Silveira; ABI SAAB, Otávio Jorge Grigoli. Diagnóstico das Áreas de Preservação Permanente das microbacias hidrográficas do município de Bandeirantes–Paraná. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n. 3, p. 527-536, 2009.

ROMÃO, P. de A.; NASCIMENTO, D. T. F.; SALES, M. M. .; DA LUZ, M. P. Modelagem da suscetibilidade erosiva laminar e linear no entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 23, n. 89, p. 34–56, 2022. DOI: 10.14393/RCG238959906.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. Oficina de textos, 2020.

SCHORK, Gianfrancisco; ZANIBONI-FILHO, Evoy. Influência do gradiente espacial sobre a estrutura da ictiofauna em um reservatório subtropical no Alto Rio Uruguai. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 44, n. 2, e236, 2018. DOI: 10.20950/1678-2305.2018.236.

SENNA, Cláudio Vinícius de; IRGANG, Bruno; MOREIRA, Cristiano. Problemas com infestação de macrófitas aquáticas na área de influência da Usina Hidrelétrica de Ita. *Acta Scientiae*, v. 5, n. 1, p. 87-92, 2003.

SGARBI, Felipe de Albuquerque et al. An assessment of the socioeconomic externalities of hydropower plants in Brazil. *Energy Policy*, v. 129, p. 868-879, 2019.

TY, Tran Van; TRIEU, Tran Thi; MINH, Huynh Vuong Thu. Impact of hydroelectric development on downstream flow regimes and livelihoods: A case study in the upper Srepok river basin. *Journal of Science*, v. 4, n. 4, p. 121 – 134, 2015.

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo. 2016.

VILAS BOAS, Lincon Almeida et al. Avaliação de parâmetros físico-químicos de qualidade da água da Barragem Tutu Reuter no município de Montanha, ES, Brasil. Revista Ifes Ciência, v. 9, n. 1, p. 01-12, 2023.

Recebido: 15 jun. 2025.

Aprovado: 22 ago. 2025.

DOI: 10.3895/rbpd.v14n3.19413

Como citar: BRANCHER, B. P.; LEAL, T. L. M. C.; MATTIAS, L. W. A.; SILVA, S.; RAMOS, J. G. V. S. Principais impactos ambientais e análise exploratória do novo índice de degradação ambiental para licenciamento de centrais geradoras hidrelétricas no Paraná. **R. Bras. Planej. Desenv.** Curitiba, v. 14, n. 03, p. 726-752, set./dez. 2025. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Jose Gustavo Venancio da Silva Ramos

Rua 75, 46 - Centro, Goiânia - GO

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

