

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ANÁLISE DO POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDROELÉTRICAS NAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARÁ

Mayke Feitosa Progênio <sup>1</sup>  
Felipe Antônio Melo da Costa Filho <sup>1</sup>  
Marcelo José Raiol Souza <sup>2</sup>  
\*Francisco Carlos Lira Pessoa <sup>3</sup>

## ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACT POTENTIAL FOR IMPLEMENTATION OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS IN THE HYDROGRAPHIC UNITS OF THE STATE OF PARÁ

Recibido el 12 de noviembre de 2017; Aceptado el 19 de mayo de 2019

### Abstract

*As the Amazon region has been the subject of studies aimed at the implementation of small hydroelectric power plants (SHPs), under the perspective of sustainable development and electric power supply to the region, it is necessary to recognize areas with high environmental potential, areas that offer lower environmental impacts (EI) in the face of the installation of these projects, as well as areas of low environmental potential which provide higher EI. The objective of this work is to identify these areas in the hydrographic units of the state of Pará. To perform the analysis, the tools of a Geographic Information System (GIS) were used with the Multicriteria decision analysis method (MDCM) and as input data were selected, through a checklist, some environmental components: hydrography, land use and vegetation. The results showed that the Gurupi, Tapajós, Alto Tocantins and Araguaia units had the smallest potential to generate IA in the installation of SHPs (high environmental potential). Among these basins, the Alto Tocantins unit stands out, having 76.19% of its area prone to the installation of SHPs, since it does not have areas of social interest (conservation units and indigenous lands) inserted in its domains. On the other hand, the Foz do Amazonas unit pointed out the greatest environmental impact potential (low environmental potential), with 99.24% for its areas. Finally, the Gurupi and Alto Tocantins units showed the best conditions for the feasibility of implementing SHPs.*

**Keywords:** SHPs, hydrographic units, environmental impacts.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade do estado do Pará, Brasil.

<sup>3</sup> Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil.

\*Autor correspondente: Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA), Universidade Federal do Pará (UFPA). Avenida Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém, Pará, Brasil. CEP 66075-110. Email: [fclpessoa@ufpa.br](mailto:fclpessoa@ufpa.br)

## Resumo

Como a região Amazônica vem sendo alvo de estudos visando à implantação de PCHs (Pequenas Centrais Hidroelétricas), sob a ótica do desenvolvimento sustentável e fornecimento de energia elétrica para a região, faz necessário o reconhecimento de áreas com alto potencial ambiental, ou seja, áreas que ofereçam menores impactos ambientais (IA) frente à instalação destes empreendimentos, assim como, as áreas de baixo potencial ambiental as quais proporcionam maiores IA. O objetivo deste trabalho visa identificar estas áreas nas unidades hidrográficas do estado do Pará. Para a realização da análise foram utilizadas ferramentas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o método de análise de decisão Multicritério (AM) e como dados de entrada foram selecionadas, por meio de um check-list, algumas componentes ambientais: hidrografia, uso da terra e vegetação. Os resultados mostraram que as unidades do Gurupi, do Tapajós, do Alto Tocantins e do Araguaia foram as que apresentaram os menores potenciais para gerar IA na instalação de PCHs (alto potencial ambiental), dentre essas bacias, merece destaque a unidade do Alto Tocantins, possuindo 76.19% da sua área propensa para a instalação de PCHs, uma vez que, não possui áreas de interesse social (unidades de conservação e terras indígenas) inseridas em seus domínios. Em contrapartida, a unidade da Foz do Amazonas apontou o maior potencial de impacto ambiental (baixo potencial ambiental), com 99.24% para suas áreas. Por fim, as unidades do Gurupi e do Alto Tocantins mostraram as melhores condições para viabilidade de implantação de PCHs.

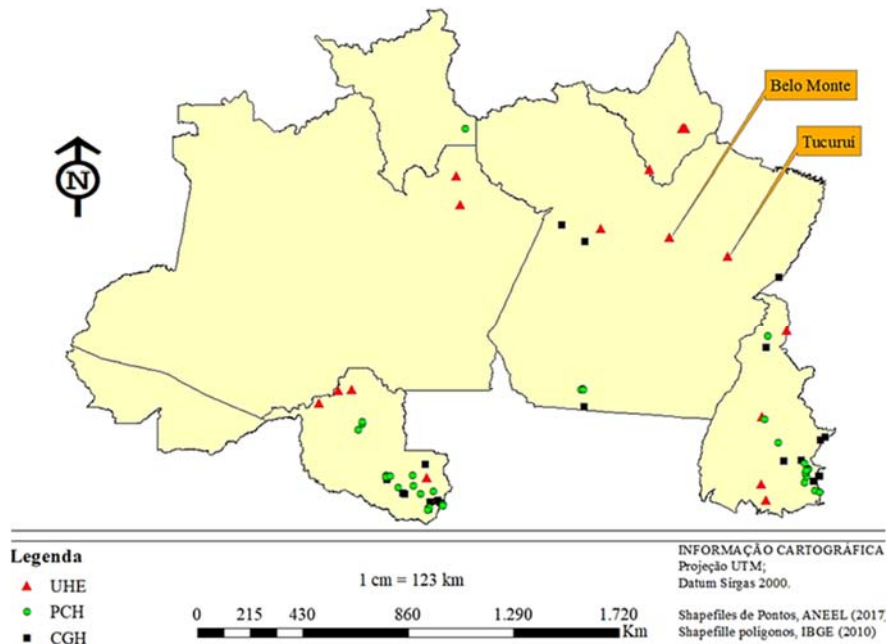
**Palavras chave:** PCH, pequenas centrais hidrelétricas, unidades hidrográficas, impacto ambiental.

## Introdução

O Bioma Amazônico merece destaque por sua importância ecossistêmica, sendo uma região em que grande parte da população não tem acesso à energia elétrica devido, principalmente, as grandes extensões de área e complexidade dos seus biomas, o que dificulta instalações de sistemas de distribuição de energia elétrica firme e de qualidade geradas por grandes usinas hidroelétricas (UHEs) instaladas na região (Matos *et al.*, 2011). Portanto, a instalação (ou uso) de fontes geradoras de energia elétrica alternativas descentralizadas apresenta-se como uma possível saída para minimizar essa problemática. Neste contexto, as energias renováveis podem figurar como uma opção para o desenvolvimento sustentável da região amazônica, podendo citar algumas fontes de energia como: energia solar, energia das marés, energia hidráulica e energia de biomassa (Quintas *et al.*, 2011; Rendeiro *et al.*, 2011; Progenio *et al.*, 2017; Silva e Souza, 2017).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2017) o potencial hidroelétrico do Brasil é de 247.997 GW, porém somente 43.02% desse potencial já foram inventariados (Eletrobrás, 2016). A região norte apresenta um potencial de 110.405 GW, representando aproximadamente 41% do potencial brasileiro, sendo que apenas 31.6% desse potencial foram explorados por 17 UHEs, 37 PCHs e 23 CGHs (Centrais geradoras hidroelétricas) (Figura 1), entre as UHEs merecem destaque as usinas de Belo Monte e Tucuruí por estarem entre as maiores do mundo (Cruz, 2018). A energia produzida por meio das hidrelétricas independe dos combustíveis fósseis, todavia, as UHEs costumam gerar impactos ambientais e sociais significativos, resultantes da inundação de grandes áreas e da necessidade de manejo das pessoas afetadas pela criação de reservatórios. Entretanto, novas concepções de hidroelétricas que diferem das usinas de

acumulação (UHE de Tucuruí) vem sendo instaladas e planejadas para a região Amazônica, entre elas: usinas a fio d'água (UHE de Belo Monte), Santo Antônio na região do Jari e futuras usinas de plataforma, essas duas novas modalidades tem como principal característica a diminuição de áreas inundadas (Westin, 2014).



**Figura 1.** Potencial hidrelétrico instalado na região norte.

Fonte: Cruz (2018).

Segundo Terra *et al.* (2008), o potencial de aproveitamento hidrelétrico de uma região está relacionado com a morfologia do relevo e abundância das chuvas, ou seja, quanto mais áreas de relevo de planaltos e maior índice pluviométrico, melhor será a possibilidade de produção de energia elétrica por intermédio de aproveitamentos hidrelétricos. A região Amazônica, embora tenha uma grande abundância hídrica fluvial, sofre restrições à instalação de grandes UHEs, devido às suas características topográficas de planícies que exigem o alagamento de enormes áreas, que excedem daquela considerada ideal, logo, os custos ambientais, econômicos e sociais são maximizados (Timpe; Kaplan, 2017; Forsberg *et al.*, 2017).

Considerando-se a bacia hidrográfica Amazônica e suas características particulares, a energia produzida a partir de PCHs pode ser uma alternativa viável, visto que, a mesma é uma forma de produção de energia com baixo impacto ambiental por apresentar uma área inundada máxima de apenas 13 km<sup>2</sup> (Resolução n°673 de 04/08/2015 da ANEEL), estes podem criar atrativos para o desenvolvimento socioeconômico para as comunidades próximas dos locais em que foram

instaladas, principalmente para aquelas comunidades isoladas sem acesso ao fornecimento de energia elétrica (Paish, 2002; Ferreira *et al.*, 2016b; Vinagre *et al.*, 2016).

Como a PCH gera menores impactos ambientais, foi estabelecida a Resolução CONAMA nº 279/2001, que define o Relatório Ambiental Simplificado (RAS), para a implantação dessas centrais, ao invés do EIA/RIMA, que é um estudo ambiental mais complexo e de longo prazo (Pimenta *et al.*, 2009). De acordo com Faria (2011), para adquirir a autorização de uma PCH algumas etapas devem ser seguidas como: estimativa do potencial hidrelétrico, inventário hidrelétrico, viabilidade, projetos básico e executivo, devem ser seguidas. Na etapa da Estimativa do Potencial Hidrelétrico acontece estimativa inicial do aproveitamento de uma determinada bacia, rio, ou local, para que através destas informações possa se prosseguir para a próxima etapa. O desenvolvimento desta fase, que no *lato sensu* o termo ganha o nome de etapa da prospecção, tem por objetivo cooperar para organizar a análise técnica, socioambiental e econômica que são relevantes para empreendimentos desta natureza e que podem ser avaliados de forma preliminar (Kosnik, 2010; Okawa *et al.*, 2015).

No aspecto da avaliação ambiental das PCHs, estudos vêm sendo realizados para se determinar técnicas para avaliação da qualidade da elaboração dos Estudos de impacto ambiental - EIAs (Barbosa e Dupas, 2006; Montano *et al.*, 2014). Ferreira *et al.* (2016a) utilizaram uma técnica de avaliação ambiental previa para instalação de um PCH por intermédio de (SIG) de forma qualitativa, em que critérios como: geologia, aspectos socioambientais, topográficos, infraestrutura e logística, foram definidos para efetuar uma avaliação preliminar de viabilidade.

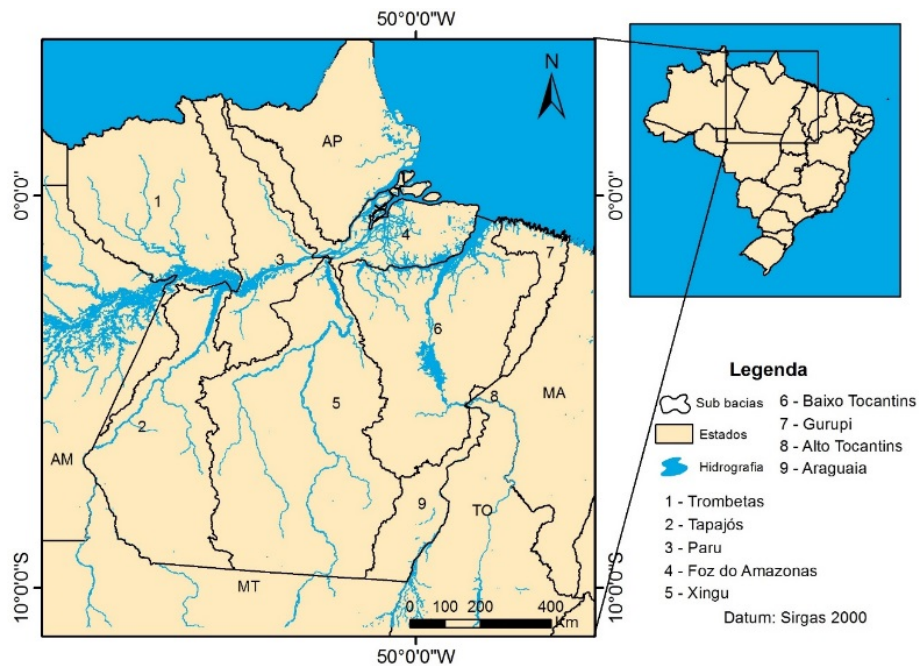
Considerando os aspectos energéticos e ambientais apresentados, o presente trabalho teve por objetivo determinar áreas que possam oferecer menores impactos ambientais, visando à instalação de PCHs nas unidades hidrográficas do estado do Pará.

### Material e métodos

A área de estudo compreende as unidades hidrográficas do estado do Pará. De acordo com a ANA (2016) o Pará possui nove unidades hidrográficas: Trombetas, Tapajós, Paru, Foz do Amazonas, Xingu, Baixo Tocantins, Gurupi, Alto Tocantins e Araguaia (Figura 2).

Consultas bibliográficas foram realizadas em documentos oficiais de alguns órgãos, como o Ministério das Minas e Energia (MME, 2016), Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) e Eletrobrás, assim como em artigos científicos e livros relacionados ao tema PCH. De posse destas informações, foi realizado um check-list para selecionar as componentes ambientais levando em consideração a disponibilidade de dados e a importância ecossistêmica para explicar o potencial de IA. Segundo Juwana *et al.* (2010) e Sales e Candido (2013) o check-list é uma metodologia bastante utilizada na avaliação de impactos ambientais (AIA).

Assim, foram selecionadas as seguintes componentes: vegetação, uso da terra, hidrografia e as áreas de interesse socioambiental (terras indígenas e unidades de conservação), áreas com alta vulnerabilidade social e áreas que apresentam espécies endêmicas.



**Figura 2.** Localização das unidades hidrográficas do estado do Pará.

As informações das componentes ambientais foram obtidas nos portais do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016) e da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016). Por intermédio de ferramentas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) foram utilizados arquivos no formato shapefile, contendo as informações especializadas de cada componente selecionada.

Com a criação de um banco de dados, contendo informações espaciais das componentes selecionadas, estas foram exportadas para a área de trabalho do software de informações geográficas. No ambiente de trabalho do SIG, as camadas especializadas das componentes foram projetadas e sobrepostas no mesmo sistema de coordenadas geográficas, para posterior aplicação da análise de decisão multicritério (AM), essa metodologia permite o cruzamento de planos de informações hierarquizadas, de modo que, a constituição da hierarquia venha a facilitar a tomada de decisão final (Moura, 2007; Costa Filho *et al.* (2015); Carmo *et al.* (2016). A hierarquia baseia-se na definição dos graus de pertinência de cada plano e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado.

As componentes ambientais da pesquisa foram integradas por subcomponentes (Tabela 1), tendo como exemplos: a vegetação, composta por 10 subcomponentes, dentre estes, a floresta ombrófila; já a hidrografia foi composta por 1 subcomponente, o corpo hídrico, e o uso da terra foi composto por 27 subcomponentes, em que a área urbanizada foi um destes.

**Tabela 1.** Notas e pesos das componentes e subcomponentes definidas na análise de Delphi.

Vegetação (peso = 0.15)	Uso da terra (peso = 0.25)	Hidrografia (peso = 0.60)
Floresta Ombrófila Densa (nota=1)	Área entre 50% e 25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários (nota=1) Área urbanizada (nota=1)	Corpo Hídrico (nota=3)
Área Antropizada (nota=1)	Matas e/ou florestas naturais (nota=1) Área entre 25% e 10% de ocupação por estabelecimento agropecuário (nota=2)	
Floresta Ombrófila/Floresta Estacional (nota=1)	Matas e/ou florestas + Pastagens (nota=2) Pastagens + Matas e/ou florestas (nota=2)	
Savana / Floresta Ombrófila (nota=2)	Matas e/ou florestas (nota=2) Lavouras + Matas e/ou florestas (nota=2) Lavouras permanentes (nota=2)	
Floresta Estacional Decidual (nota=3)	Sistemas agroflorestais + usos diversificados (nota=3) Usos diversificados (nota=3)	
Floresta Ombrófila Aberta (nota=3)	Área com menos de 10% de ocupação agropecuária (nota=3) Pastagens plantadas (nota=3)	
Vegetação com Influência Fluviomarina (nota=4)	Pastagens + Lavouras (nota=3) Pastagens naturais (nota=3) Pastagens (nota=3)	
Savana (nota=4)	Matas e/ou florestas + Lavouras (nota=3) Pastagens + Sistemas agroflorestais (nota=3)	
Savana / Floresta Estacional (nota=4)	Lavouras + outras coberturas e usos (nota=3) Sistemas agroflorestais (nota=3)	
Vegetação com Influência Fluvial ou Lacustre (nota=5)	Matas e/ou florestas + outras coberturas e usos (nota=4) Lavouras temporárias (nota=4)	
	Lavouras (nota=4) Pastagens + outras coberturas e usos (nota=4) Matas e/ou florestas + Sistemas agroflorestais (nota=4) Outras coberturas e usos (nota=4) Outras coberturas e usos + Usos diversificados (nota=5)	

Fonte: Adaptado de Benavides & Machado (2014); Costa Filho et al. (2015); Cessa & Soares (2013); Ferreira et al. (2016a); Haidar et al. (2013); Quintas et al. (2012).

A metodologia utilizada para definir os valores das componentes e subcomponentes ambientais neste estudo foi o método do Delphi adaptado, segundo Carmo et al. (2016), esta metodologia é fundamentada na atribuição de notas e pesos de acordo com o conhecimento dos autores (2 Engenheiros Ambientais, 1 Engenheiro Sanitarista e 1 Engenheiro Mecânico) do artigo sobre o fenômeno ou tema a ser investigado.

Para aplicação da análise multicritério as componentes receberam pesos que variaram de 0 a 1, considerando a influência na determinação de áreas para implantação de PCHs, ou seja, quanto maior grau de influência da componente, maior o peso atribuído.

As subcomponentes receberam notas, que variaram de 0 a 5, o critério de atribuição das notas considerou a disponibilidade da área em receber a instalação de PCHs e sua suscetibilidade para possíveis impactos ambientais, provenientes desta instalação.

Das componentes selecionadas na pesquisa, destaca-se a hidrografia com maior peso (0.6), uma vez que, esta é a componente diretamente afetada na implantação de PCH's. Quanto as subcomponentes a maior nota atribuída entre estas foi 3, para a única subcomponente de hidrografia (corpo hídrico), para a subcomponente de vegetação "floresta estacional decidual" e para a subcomponente do uso da terra "usos diversificados". Na tabela 1, pode-se observar os pesos de cada componente e as notas de suas respectivas subcomponentes.

Determinado os pesos e notas, os arquivos exportados para o SIG foram sobrepostos e convertidos do formato shapefile (vetorial) para raster (matricial). Este fato está relacionado a aplicação da ferramenta Álgebra de Mapas.

A Álgebra de Mapas permite a interação das camadas sobrepostas através da indicação de uma equação, porém para que as notas e pesos sejam considerados, os arquivos necessariamente devem estar em formato matricial.

A matemática empregada consistiu na aplicação de uma média ponderada, onde os pesos da média são os graus de pertinência assumidos para cada plano e de seus subcomponentes (Equação 1). Assim, realizou-se a investigação combinada das componentes, onde foram atribuídos pesos para cada atributo empregado na análise do potencial ambiental do empreendimento de instalação de PCHs.

$$PIA = A_j \times \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} + B_j \times \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} + C_j \times \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad \text{Equação 1}$$

Onde PIA é o potencial de impactos ambientais; n é a quantidade de subcomponentes;  $X_j$  é a nota atribuída a subcomponente; e as variáveis  $A_j$ ,  $B_j$  e  $C_j$  são os pesos atribuídos para as componentes.

O potencial de impactos ambientais das bacias foi determinado através da Equação 2, este potencial foi dividido em duas categorias, o alto potencial de impactos ambientais (baixo potencial ambiental) e baixo potencial de gerar impactos ambientais (alto potencial ambiental). As áreas de alto e baixo potencial foram determinadas automaticamente pelo SIG, como resultado da álgebra de mapas, sendo dividido respeitando um intervalo mínimo resultante da equação de interação.

$$PIA = (X_j \times 0.60) + (X_j \times 0.25) + (X_j \times 0.15) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde  $X_j$  é a nota atribuída a subcomponente.

A segregação deu-se da seguinte forma, para áreas com valores de interação de 0 a 5.96, considerou-se de alto potencial ambiental, e o intervalo de 5.96 a 10, de baixo potencial ambiental. Os potenciais foram identificados em porcentagem, considerando as áreas respectivas a cada potencial. Esta análise permitiu escolher a bacia com melhor adequação para implantação do empreendimento levando em consideração os aspectos ambientais.

Foram elaborados outros dois mapas com a finalidade de demonstrar a presença de unidades de conservações e terras indígenas nas áreas das bacias estudadas. Os mesmos permitiram avaliar quais bacias possuem restrições em suas áreas, uma vez que, segundo Carvalho et al. (2017), a implantação de uma PCH nestas áreas pode se tornar inviável.

Com a finalidade de validar a metodologia e verificar se os resultados gerados são consistentes, foram utilizadas informações de localização geográfica de três PCHs (Salto Curuá, Salto Buruti e 3 de Maio) em operação no estado do Pará, todas de responsabilidade da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

## Resultados e discussão

### Validação da metodologia proposta

Na Figura 3, observa-se a disposição de três PCHs que estão em operação no estado do Pará, localizadas na bacia do rio Xingu. Nota-se que as PCHs foram instaladas em áreas de baixo potencial de gerar impactos ambientais (alto potencial ambiental), este fato comprova que os pesos e notas utilizados no processo de cálculo na Equação 2 estão condizentes com a realidade, pois se uma PCH já opera na região, constata-se que a viabilidade ambiental do empreendimento no local já foi aprovada.

### Determinação dos potenciais de gerar impactos ambientais

A Figura 4 apresenta o mapa de potencial ambiental das bacias pertencentes a cada uma das unidades hidrográficas do estado do Pará obtidas por meio da equação de interação (Equação 2), no mesmo, é possível observar as áreas com alto potencial ambiental (baixo potencial de



impactos ambientais) e baixo potencial ambiental (alto potencial de impactos ambientais). A partir do mapa de potencial de gerar impactos ambientais (Figura 4) foi possível identificar, por intermédio da segregação dos potenciais de cada bacia, qual a melhor unidade hidrográfica para implantação de PCHs.

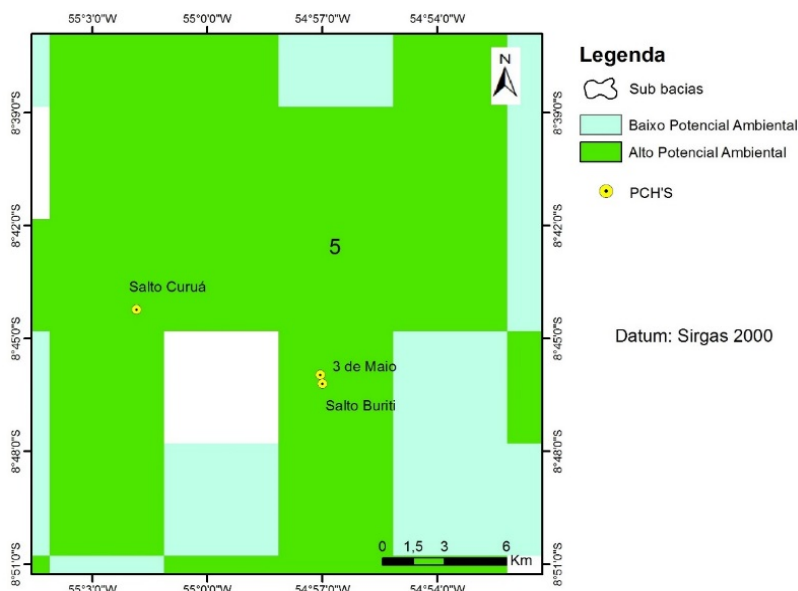


Figura 3. Mapa de três PCH(s) do estado do Pará.

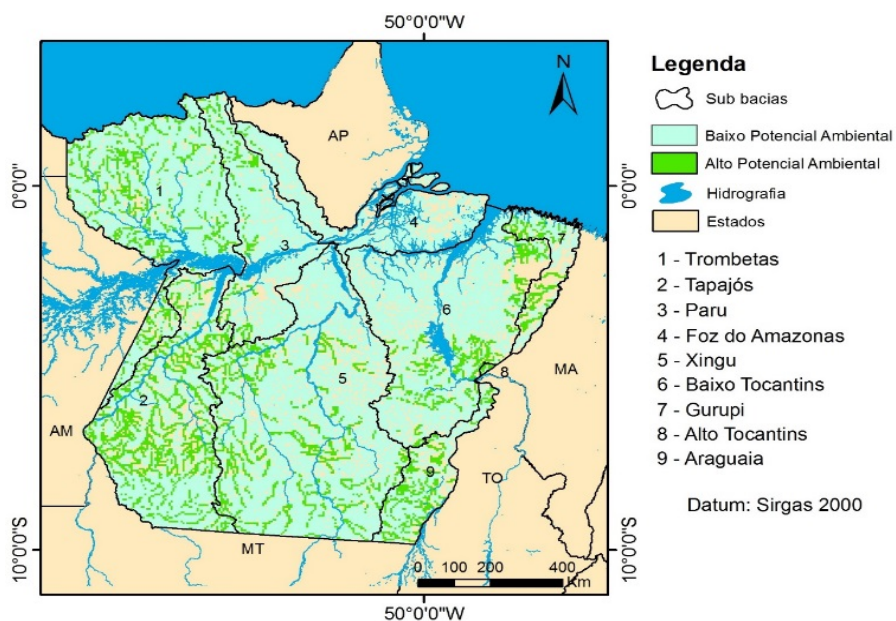


Figura 4. Mapa de Potencial ambiental das bacias do Pará.

A Tabela 2 demonstra os valores percentuais do potencial ambiental (alto e baixo) correspondentes a cada uma das unidades hidrográficas. Ressalta-se que, o potencial de impactos ambientais determinado é oriundo de uma análise espacial, sendo assim, a área territorial de cada unidade deve ser considerada assim como as componentes utilizadas na Equação 2.

**Tabela 2.** Quantificação de potenciais em cada bacia hidrográfica.

Unidade hidrográfica	Alto Potencial	Baixo Potencial	Área (km <sup>2</sup> )
Alto Tocantins	76.19%	23.81%	882.20
Gurupi	32.97%	67.03%	37,524.02
Tapajós	32.4%	67.6%	189,147.30
Araguaia	31.91%	68.09%	50,788.86
Trombetas	17.12%	82.88%	200,986.76
Xingu	13.58%	86.42%	331,291.65
Baixo Tocantins	12.04%	87.96%	226,487.28
Paru	8.49%	91.51%	112,665.84
Foz do Amazonas	0.76%	99.24%	95,540.86

Fonte: Autores (2017).

Analisando a Tabela 2, observa-se que a melhor unidade hidrográfica para implantação de uma PCH, respeitando os aspectos ambientais considerados, é a do Alto Tocantins. Porém, os potenciais ambientais das unidades do Araguaia, Gurupi e Tapajós apresentaram percentagem acima de 30% para o alto potencial, conseqüentemente, não devem ser desprezadas, uma vez que o grau de potencial pode oferecer um bom aproveitamento. As unidades Trombeta, Xingu, Baixo Tocantins, Paru e Foz do Amazonas apresentaram valores de alto potencial abaixo de 20%, este valor não inviabiliza o aproveitamento nestas unidades, contudo, é evidente a maior fragilidade ambiental das mesmas. Vale ressaltar que as áreas de alto potencial ambiental em todas as unidades hidrográficas visualizadas na Figura 4, podem servir, após levantamentos de campo para estimativas de vazão e queda, como sítios de implantação de PCHs.

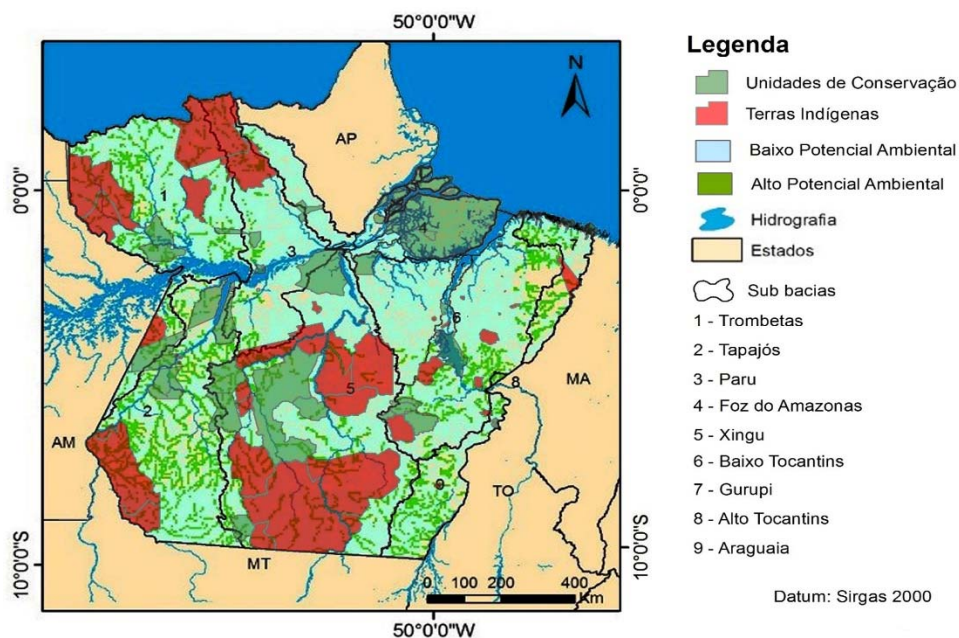
O alto potencial de implantação de PCHs da bacia do Alto Tocantins justifica-se pelas particularidades dessa região e as considerações da equação 1, porém a análise realizada é espacial, logo, este aspecto pode ser um fator para explicar os potenciais das bacias. No caso da bacia do Alto Tocantins, esta apresenta a menor área territorial, deste modo, o potencial desta bacia está inteiramente ligado às relações das componentes e suas subcomponentes presentes na bacia.

#### Determinação dos potenciais de gerar impactos ambientais

Em função da metodologia proposta não avaliar diretamente a existência de áreas de interesse socioambiental, como Unidades de Conservação (UCs) e terras indígenas (TI), ressalta-se a

importância destas áreas na viabilidade de implantação destes empreendimentos. Com base na Lei nº 9985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as UCs dividem-se em: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável (BRASIL, 2000).

Segundo IBAMA (2016) e Maganhotto (2011), as Unidades de Proteção Integral têm como objetivo básico a preservação da natureza, sendo admitido o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos na lei, enquanto que as Unidades de Uso Sustentável têm como objetivo básico compatibilizar a conservação da natureza com o uso direto de parcela dos seus recursos naturais.



**Figura 5.** Distribuição espacial de UC's e TI no Pará.

Os dados georeferenciados das áreas das Unidades de Conservação (UC's) e Terras Indígenas (TI) podem ser observados na Figura 5, nota-se que algumas áreas de alto potencial ambiental podem se tornar inviáveis devido à presença destas áreas de interesse socioambiental.

Por meio de uma avaliação qualitativa, não se constatou a presença de unidades de conservação e nem de áreas indígenas na unidade do Alto Tocantins, como visto na Figura 5, posto isso, ressalta-se ainda mais o seu alto potencial ambiental. Em contrapartida, em todas as outras unidades hidrográficas observa-se a presença de áreas indígenas e de unidades de conservação reduzindo a viabilidade de implantação de PCHs.

A unidade do Tapajós apresentou valor superior a 30% para alto potencial ambiental, porém com a inserção das áreas de interesse socioambiental percebeu-se a enorme densidade de UC's e áreas indígenas em seu território, deste modo, ela merece uma análise mais cautelosa para determinar seu real potencial ambiental. As unidades de conservação e áreas indígenas são de grande importância na prospecção de projetos como PCHs, devido apresentar aspectos constitucionais e sociais que diminuem seus potenciais de implantação.

Os impactos ambientais gerados por uma PCH são reduzidos quando equivalente a uma usina hidrelétrica, todavia, dentro das especificidades socioambientais de uma região, mesmo com o impacto reduzido, a PCH pode vir a infligir impactos muito graves e irreversíveis para um determinado bioma e para as populações que nele e dele vivem (Ortiz, 2005; Montano *et al.*, 2014).

### Conclusão

Para que a instalação de uma PCH seja realizada sob as premissas do desenvolvimento sustentável, é preciso determinar a capacidade de suporte do meio ambiente, de forma que os impactos ambientais gerados nos ecossistemas sejam mínimos. Portanto, a metodologia proposta pode ser utilizada para seleção de áreas adequadas para a instalação de PCHs nas unidades hidrográficas do estado do Pará. Os resultados mostraram que os impactos ambientais provocados por PCHs são mais intensos e numerosos nas porções oeste e norte do estado Pará (Trombetas, Tapajós, Xingu, Foz do Amazonas e Paru), em contraposição, as porções leste e sudeste mostraram-se menos intensos (Baixo Tocantins, Alto Tocantins e Araguaia). Vale ressaltar, que a ferramenta proposta pode ser utilizada em estudos preliminares de projetos de PCHs, podendo determinar áreas potenciais para a realização de estudos mais aprofundados para o processo de licenciamento ambiental.

Ressalta-se que os efeitos cumulativos e sinérgicos dos impactos ambientais gerados quando se instala várias PCHs em uma mesma bacia, não são considerados, logo, em trabalhos futuros faz-se necessária uma avaliação estratégica de impacto ambiental, para que esses efeitos sejam mensurados, e agrupados com as características supracitadas que não foram abordados, para que desta forma a análise fique mais refinada.

De uma forma geral, este trabalho contribuiu com ferramentas que podem auxiliar em trabalhos futuros, como, por exemplo, a utilização de um SIG em estudos de viabilidade do projeto, levando em consideração os aspectos da área de interesse. Além disso, este tipo de análise permitiu determinar uma área de maior viabilidade, esta contribuição é muito importante não apenas para investidores ou gestores, porém para que as comunidades locais entendam que o ambiente em que desenvolvem suas atividades possui um grande potencial ambiental.

## Referências bibliográficas

- ANA, Agência Nacional de Águas (2016) Acesso em 04 jan. 2016. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=4100>
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (2015) Sobre a Resolução Normativa nº 673, de 4 de agosto de 2015. Acesso em: 16/04/2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015673.pdf>
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (2017) Boletim de Informações Gerenciais. [s. l.], 73 pp.
- Barbosa, T. A. S., Dubas, F. A. (2006) Matriz simplificada para avaliar impactos ambientais em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). *Revista Brasileira de Energia*, **12**(2), 125-139.
- Benavides Silva, V. C., Machado, P. S. (2014) SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. *Revista de Geografia (UFPE)*, **31**(2), 66-87.
- Brasil (2000) 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.
- Carmo, A. M. D. O. M., Souto, V. S., Duarte, C. R., Lopes, P. S., Sabadia, J. A. B. (2016) Avaliação de suscetibilidade à movimentos de massa, utilizando as variáveis morfométricas, para as serras da porção sul do maciço central do Ceará, *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, **9**(68), 1787-1804.
- Carvalho, N. B., Freitas, M. A., V. (2017) Impactos socioambientais de pequenas centrais hidrelétricas: considerações sobre os efeitos cumulativos e sinérgicos. *PCH Notícias & SHP News*, **73**(2), 5-12. doi: 10.14268/pchn.2017.00052
- Cessa, R. M. A., Soares, M. H. (2013) Potencial de fragilidade ambiental no município de Santa Terezinha-MT identificado pela caracterização de áreas naturais e antropizadas. *Revista Agrogeoambiental / Instituto Federal do Sul de Minas Gerais*. **5**(3), 21-26. doi: 10.18406/2316-1817v5n32013465
- Costa Filho, F. A. M., Beltrão, A. S. S., Morales, G. P; Ribeiro, H. M. C; Vera, M. A. P. (2015) Análise de Suscetibilidade Erosiva no município de Barcarena – Pa. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*. **11**(22), 107 – 116.
- Cruz, J. S. (2018) Modelo vazão-velocidade para avaliação de potencial hidrocinético. Dissertação de Mestrado, Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Estado do Pará.
- ELETOBRÁS (2016) Potencial Hidrelétrico Brasileiro em cada Estágio por Estado (valores em MW) Dezembro de 2016. Acesso em 11 abr. 2019. Disponível em: <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Potencial-Hidreletrico-Brasileiro.aspx>
- Faria, F. (2011) *Metodologia de Prospecção de Pequenas Centrais Hidrelétricas*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Ferreira, J. H. I., Camacho, J. R., Magoli, J. A. A. (2016a) Contribution to the Study of the Estimate Hydroelectric Potential for Small Hydropower Plant. *Revista IEEE América Latina*, **14**, 3215-3224. doi: 10.1109/TLA.2016.7587623
- Ferreira, J. H. I., Camacho, J. R., Magoli, J. A., Junior Guimarães, S. C. (2016b) Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **56**, 380-387. doi: 10.1016/j.rser.2015.11.035
- Forsberg, B. R., Melack, J. M., Dunne, T., Barthem, R. B., Goulding, M., Paiva, R. C., Sorribas, M. V., Silva, U. L., Weisser, S. (2017) The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *PLoS One*, **12**(8), e0182254. doi: 10.1371/journal.pone.0182254
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente dos Recursos Naturais Renováveis (1997). Acesso em 10 de jan. 2016, disponível em: [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br)
- Juwana, I., Mutil, N., Perera, B. A. (2010) Water sustainability index for West Java. Part 1: developing the conceptual framework. *Water Science Technology*, **62**(7), 1629-1640.
- Kosnik, L. (2010) The potential for small scale hydropower development in the US. *Energy Policy*, **38**, 5512-5519.
- Maganhotto, R. F., Santos, L. J. C., Oliveira Filho, P. C. (2011) Análise da Fragilidade Ambiental como suporte ao planejamento do Ecoturismo em Unidades de Conservação: Estudo de caso Flona de Irati-PR. *Floresta*, **41**(2), 231-242.

- Matos, F. B., Camacho, J. R., Rodrigues, P., Guimarães Junior, S. C. (2011) A research on the use of energy resources in the Amazon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 3196-3206. doi: 10.1016/j.rser.2011.04.012
- MMA, Ministério do Meio Ambiente (2016) Download de dados geográficos. Acesso 04 jan. 2016, disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>
- MME, Ministério de Minas e Energia (2016) PROINFA: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Acesso em 04 jan. 2016, disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>
- Montano, M., Carvalho, A. F., Gomes, C. S., Polaz, C. N. M., Jordao, C. O., Souza, M. P. (2014) Revisão da qualidade de estudos de impacto ambiental de pequenas centrais hidroelétricas. *Holos Environment*, **14**(1), 1-14.
- Moura, A. C. M. (2007) Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, Brasil. 2899-2906.
- Okawa, C. M. P., Oliveira, M. M. D., Roveri, S. D. (2015) Análise preliminar de viabilidade hídrica para instalação de uma pequena central hidrelétrica: rio ligeiro, cianorte, PR. *Revista Tecnológica Maringá*, **24**, 13-23. doi: 10.4025/revtecnol.v24i1.24819
- Ortiz, L.S. (2015) *Energias renováveis sustentáveis: uso e gestão participativa no meio rural*. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra.
- Paish, O. (2002) Small hydro power: technology and current status. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **6**, 537-556.
- Pimenta, S.M., Peña, A.P., Gomes, P.S. (2009) *Aplicação e métodos físicos, químicos e biológicos na Avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde – Goiás*. Acesso em 08 dez 2015, disponível em: [www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S198245132009000300013&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198245132009000300013&lang=pt)
- Progenio, M. F., Barbosa Junior, R. N. S., Souza, M. J. R. A (2017) Energia maremotriz e sua perspectiva de oportunidade no estado do Pará. *Revista Brasileira de Energia*, **6**(2), 245-259. doi: 10.5380/rber.v6i2.47765
- Quintas, M. C., Blanco, C. J. C., Mesquita, A. L. A. (2011) Projetos sustentáveis de CGH para pequenas comunidades isoladas da Amazônia. *PCH notícias & SHP news*, **51**, 52-57.
- Quintas, M. C., Blanco, C. J. C., Mesquita, A. L. A. (2012) Analysis of two schemes using micro hydroelectric power (MHPs) in the amazon with environmental sustainability and energy and economic feasibility. *Environment, Development and Sustainability*, **14**, 283-295.
- Rendeiro, G., Negrão, E. M., Pinheiro, G. F., Pinho, J. T. (2011) Analysis on the feasibility of biomass power adding to the electric power system economic, regulatory and market aspects state of Pará, Brazil. *Renewable Energy*, **36**, 1678-1684.
- Sales, L. G. de L., Cândido, G. A. (2013) Análise da Sustentabilidade Hidroambiental dos municípios pertencentes a sub-bacia do Rio do Peixe-PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal-PB*, **8**(5), 22-40.
- Silva, G. D. P. da., Souza, M. J. R. (2017) Estimativa de geração de energia através de um sistema fotovoltaico: Implicações para um sistema flutuante no lago Bolonha, Belém-Pará. *Revista Brasileira de Energia*, **6**(2), 149-164.
- Terra, L., Araújo, R., Guimarães R.B. (2008) *Conexões: Estudos de Geografia Geral e do Brasil*. 1.ed. São Paulo: Moderna.
- Timpe, K., Kaplan, D. (2017) The changing hydrology of a dammed Amazon. *Science advances*, **3**(11), e1700611. doi: 10.1126/sciadv.1700611
- Vinagre, V. A. V., Blanco, C. J. C., Mesquita, A. L. A., Lima, A. C. M., Bello, L. A. L. (2016) Otimização do Uso de Turbinas Axiais em Pequenas Centrais Hidrelétricas da Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **1**(21), 88-98. doi: 10.21168/rbrh.v21n1.p88-98
- Westin, F. F. (2014) Análise do uso da avaliação de impacto ambiental estratégica e integrada no contexto da expansão da hidroeletricidade e da política nacional de recursos hídricos: proposta para a efetividade. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.