

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **USO DO GEOPROCESSAMENTO PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO REMANESCENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUCURI**

*André Rodrigo Brito Alves Maciel<sup>1</sup>; Willian Gonçalves Dias<sup>2</sup> & Francisco César Dalmo<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O desenvolvimento de uma região está intimamente ligado à disponibilidade energética, desta forma é de grande importância que estudos sejam feitos para estimar o remanescente energético, principalmente quando se trata de energias consideradas limpas e renováveis como a fonte hidráulica. No estado de Minas Gerais, segundo estimativa da ELETROBRAS, existem cerca de 2.489,90MW de potencial hidroelétrico não inventariado. Diante deste cenário, objetivou-se, a partir deste trabalho, estimar o potencial hidroelétrico remanescente da Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri, localizada no nordeste do estado através de técnicas de geoprocessamento e da identificação de fatores socioambientais restritivos. Como resultado, estimou-se que o potencial hidrelétrico remanescente da bacia é de aproximadamente 20MW, o que indica um crescimento de até 14,2% do potencial explorado na atualidade e considerando as restrições identificadas.

**ABSTRACT**– The development of a region is closely linked to its energy availability, so it is of great importance that studies are done to estimate the energy remnant, especially when it comes to clean and renewable energies. In the state of Minas Gerais, according to estimates by ELETROBRAS, there are still 2,489.90 MW of non-inventoried hydroelectric potential. Based on this scenario, the objective was to estimate the remaining hydrodynamic potential of the Mucuri River Basin, located in the northeast of the state through geoprocessing techniques and the identification of restrictive socioenvironmental factors. As a result, it was estimated that the remaining hydroelectric potential of the basin is approximately 20MW, indicating a growth of up to 14.2% of the current exploited potential and considering the constraints identified.

**Palavras-Chave** – Sistema de informações geográficas, Hidroeletricidade, Fatores Socioambientais.

---

1) Graduando em Engenharia Hídrica na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus do Mucuri, Rua do Cruzeiro, nº 01, Jardim São Paulo, Teófilo Otoni, MG. [rodrigow\\_@hotmail.com.br](mailto:rodrigow_@hotmail.com.br)

2) Graduando em Engenharia Hídrica na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus do Mucuri, Rua do Cruzeiro, nº 01, Jardim São Paulo, Teófilo Otoni, MG. [willians-fl@hotmail.com](mailto:willians-fl@hotmail.com)

3) Professor na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus do Mucuri, Rua do Cruzeiro, nº 01, Jardim São Paulo, Teófilo Otoni, MG, (33) 3529-2740, Ramal 2971, [francisco.dalmo@ufvjm.edu.br](mailto:francisco.dalmo@ufvjm.edu.br)

## INTRODUÇÃO

A crescente preocupação sobre o efeito do uso de combustíveis fósseis no meio ambiente, aliada ao aumento natural da demanda energética com o desenvolvimento das nações, instaurou-se uma constante busca por uma matriz energética limpa e eficiente, capaz de suprir as novas necessidades. Dentre as várias formas de geração consideradas, o uso da geração hidráulica se mantém como carro chefe das fontes limpas na matriz mundial, isto pode ser explicado, em partes, por emitir poucos gases de efeito estufa e pelo baixo custo da energia gerada, se comparadas a outras fontes (FANG, 2017; SERPOUSH et al 2017; WORLD ENERGY COUNCIL, 2016).

De acordo com o World Energy Council (2016), a geração hidráulica é responsável por 71% da geração elétrica renovável global, mas isto representa apenas 14% da matriz energética geral. Em seu relatório, a REN21 (2018), aponta que a geração hidráulica contou com o aumento de potência instalada num valor de 159 GW, entre 2016 e 2017. Ainda em 2017, observou-se o menor crescimento do potencial hidráulico nos últimos 5 anos, mas mesmo assim se manteve como fonte líder em crescimento.

Visto a importância da geração hidroelétrica, como mostrado até agora, é interessante que estudos sejam feitos para levantar o potencial hidráulico que ainda pode ser aproveitado para geração de energia. A nível mundial, o World Energy Council (2016) estima que o potencial remanescente global seja de 10.000TWh/ano, autores como Capik *et al* (2012), por exemplo, estimam um valor de 8.905TWh/ano como potencial economicamente viável.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2019), a energia hidrelétrica desponta como a principal fonte de geração dentro do Brasil, representando 63,74% do potencial instalado no país em 2019. A expansão da matriz hidroelétrica brasileira ainda é viável, dado que o atual potencial de geração representa 48% do total possível, e este potencial remanescente pode estar contido em alguns dos estados com maiores potenciais hidroelétricos, que são: Pará, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso e Amazonas (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016; ELETROBRAS, 2018).

Minas Gerais aparece como um dos principais estados brasileiros em geração hidrelétrica, sua potência instalada em operação, segundo a ELETROBRAS (2018), é de 12.763,95 MW distribuída em mais de 260 centrais. O relevo e o regime hídrico do Estado possibilitam este grande potencial hidroelétrico ainda disponível, desta forma, é importante que estudos sejam realizados para definir o quanto deste potencial ainda não foi inventariado, sendo a estimativa da ELETROBRÁS (2018) de 2.489,90 MW para eixos já inventariados.

No nordeste do estado de Minas Gerais está localizada a Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri (MU1) que, por sua vez, está contida na sub-bacia 55, e seu potencial hidrelétrico remanescente

ainda precisa ser investigado de forma mais aprofundada, pois poucas informações acerca do tema estão disponíveis. O Processo nº 48500.003204/2007-72, que versa sobre a Revisão de Estudos de Inventário Bacia Hidrográfica do rio Mucuri / Estado de Minas Gerais e Bahia, da ANEEL (2007) determina que os empreendimentos localizados na MU1, e suas respectivas potências instaladas, são: PCH Cachoeira do Jacaré, com 16 MW; PCH Mucuri com 25 MW; UHE Nanuque com 40 MW e UHE Santa Clara com 60 MW no Rio Mucuri, além da PCH Crisólita, com 800 kW no Rio Pampam. Dentre os empreendimentos citados, apenas UHE Santa Clara e PCH Mucuri estão em operação, gerando 28 e 11,95 MW médios, respectivamente.

Sendo assim, a estimativa do Potencial Hidrelétrico Remanescente (PHR) da MU1 se mostra necessária. Por meio deste trabalho, então, busca-se a estimar locais em que a instalação de novos empreendimentos seja viável. Para isto, são analisados não somente o potencial bruto de geração hidrelétrica, mas também as restrições ambientais e sociais existentes na região.

## ESTIMATIVA DO POTENCIAL REMANESCENTE

De acordo com Pereira (2015), para se estimar o potencial hidrelétrico devem-se determinar dois parâmetros, a vazão do corpo hídrico (Q) e a queda bruta no ponto (H). Estas duas variáveis são relacionadas através da Equação 1:

$$P = \frac{\rho g \eta Q H}{1000} \quad (1)$$

Onde:

- P é o potencial hidrelétrico (kW);
- $\rho$  é a densidade da água ( $\text{kg m}^{-3}$ );
- g é aceleração da gravidade ( $\text{m s}^{-2}$ );
- $\eta$  é o rendimento médio decimal do conjunto turbina-gerador;
- Q é a vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );
- H é a queda bruta (m).

Adota-se  $\rho$  como  $1.000 \text{ kg m}^{-3}$ , e g como  $9,81 \text{ m s}^{-2}$ , além disso, Pereira (2015) considera o rendimento médio do conjunto turbina-gerador como sendo 88%. Desta forma, a Equação 1 pode ser simplificada para apenas uma função de Q e H (Equação 2):

$$P(\text{kW}) = 8,66QH \quad (2)$$

## Determinação da queda d'água

De acordo com o estabelecido até o momento, para que o potencial hidrelétrico seja estimado, é necessário que os locais que apresentem quedas d'água propícias sejam encontrados. De acordo com Cyr *et al* (2011), para que esta busca seja realizada através de geoprocessamento, é necessário que a rede hidrográfica da região de estudo seja encontrada através de seu Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo chamada de Rede Hidrográfica Sintética (RHS).

O MDE usado neste trabalho foi derivado das imagens de alta resolução ALOS PALSAR (ASF DAAC, 2015). Estas imagens possuem resolução espacial de 12,5 metros, e o *software* utilizado em seu processamento foi o ArcMap versão 10.3 (ESRI, 2011).

Para que a RHS seja considerada válida, é necessário que haja sua comparação com a rede hidrográfica disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde os cursos d'água idênticos devem ser mantidos e os díspares são excluídos, garantindo a veracidade do produto (CYR *et al*, 2011).

A Figura 1 mostra a RHS da MU1, com destaque para o Rio Mucuri e seus três principais tributários: Rio Marambaia e Pampam na margem esquerda e Rio Todos os Santos na margem direita.

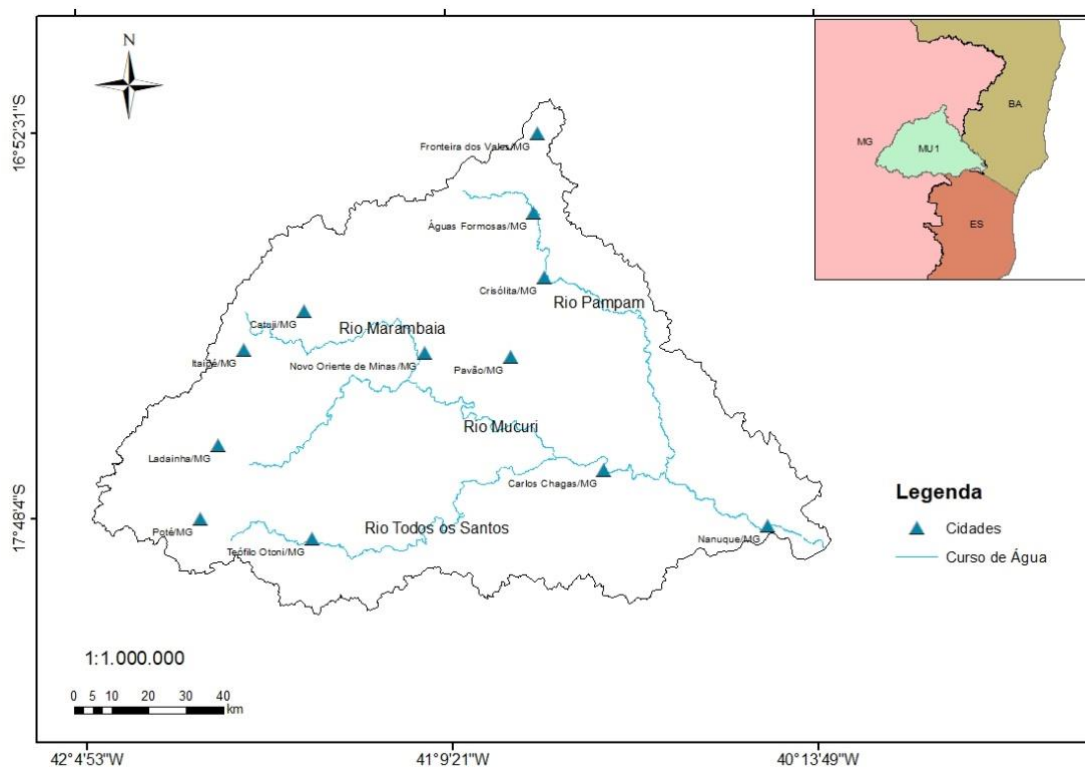


Figura 1 - RHS e sedes municipais da MU1

Fazendo uma relação entre a RHS e o MDE, pode-se encontrar pontos específicos em que há diminuição abrupta de cota, indicando, assim, regiões do curso d'água onde quedas naturais ocorrem. Neste trabalho, calculou-se o desnível a cada quilômetro de rio, cujo valor foi adotado como H.

### Levantamento das vazões

O outro parâmetro a ser analisado é vazão encontrada no curso d'água. Para empreendimentos hidrelétricos o padrão utilizado é a vazão média de longo termo (MLT). Neste trabalho, a MLT foi levantada utilizando-se os dados das estações fluviométricas disponibilizadas pela ANA através da ferramenta Hidroweb (ANA, s/d).

Partindo-se do levantamento e análise das estações fluviométricas presentes na MU1, apenas 7 estações possuem dados suficientes para serem usados no estudo. Os códigos, nomes, localização, área de drenagem e a vazão MLT das estações fluviométricas estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estações fluviométricas

Código	Estação	Rio	Drenagem (km <sup>2</sup> )	MLT (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
55590000	Pedro Versiani	Todos Os Santos	1.060	5,22
55610000	Francisco Sá	Todos Os Santos	1.850	12,21
55559000	PCH Mucuri Nordeste	Marambaia	2.145	10,71
55664000	UHE Santa Clara CGH Pampam	Pampam	2.778	11,92
55520000	Mucuri	Mucuri	2.080	17,47
55700000	Nanuque	Mucuri	14.200	98,15
-	UHE Santa Clara	Mucuri	14.484	98,95

As MLT foram aplicadas, através do método de interpolação linear, para todos os pontos da rede hidrográfica. Desse modo, foi possível estimar valores de vazão para todos os trechos de 1 km dos cursos d'água e, assim, determinar seu potencial remanescente.

### Levantamento dos critérios socioambientais

De acordo com as diretrizes do Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas, os estudos de inventário têm como objetivo maximizar os ganhos econômicos e energéticos, ao mesmo tempo em que busca prevenir e minimizar impactos socioambientais negativos (BRASIL, 2007).

Para que a escolha da melhor área de instalação de um empreendimento seja realizada, é necessário que haja o levantamento e análise prévios de fatores sociais e ambientais que serão impactados, de forma positiva e negativa, pela instalação (BRASIL 2007).

Diante destes impactos, o presente trabalho restringiu os pontos com potencial remanescente, utilizando-se como fatores limitantes as áreas em que poderiam ser constatados impactos sobre fatores sociais ou ambientais. Para todos os efeitos, não foram considerados possíveis acordos e compensações que liberariam certas áreas. Na Tabela 2, consta o tipo de restrição e a fonte de consulta (órgãos institucionais) considerada neste estudo.

Tabela 2 - Fatores restritivos

<b>Restrição</b>	<b>Fonte de Consulta</b>
Áreas quilombolas	Fundação Palmares/INCRA
Áreas indígenas	FUNAI
Áreas de conservação ambiental	IEF/ICMBio
Perímetro urbano	EMBRAPA
Rodovias	DNIT
Massas d'água	ANA

ANA - Agência Nacional de Águas

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FUNAI - Fundação Nacional do Índio

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IEF - Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

Estes fatores restritivos foram escolhidos por serem baseados em área e, ao mesmo tempo, fazem parte dos Componentes-síntese destacados no Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas e que são utilizados para compor os estudos de Avaliação Ambiental Integrada da bacia hidrográfica em estudo (BRASIL, 2007).

Os fatores chamados de áreas quilombolas e indígenas, por exemplo, são constituintes do Componente-síntese Populações Indígenas/Populações Tradicionais, que busca fazer o levantamento de grupos protegidos por leis federais, devido à sua especificidade cultural. Áreas de conservação ambiental fazem parte do Componente-síntese: Ecossistemas Terrestres, enquanto perímetro urbano e rodovias compõem o Componente-síntese: Organização Territorial (BRASIL, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da metodologia adotada neste estudo, inicialmente foi possível estimar o potencial bruto e não restringido da MU1. Os pontos contidos na Figura 2 foram considerados os mais promissores para a instalação de novos empreendimentos. No caso dos Rios Pampam e Mucuri, os pontos levantados possuem PHR maior que 5MW, enquanto o ponto do Rio Marambaia possui um PHR de 1,35MW.

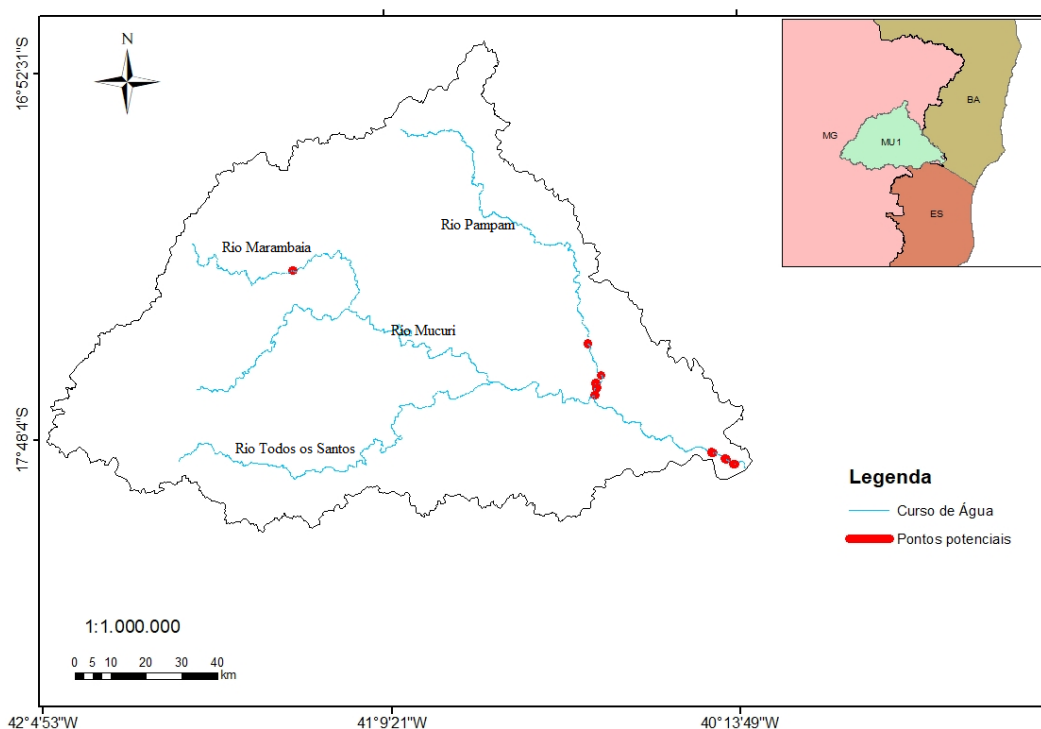


Figura 2 – Potencial Hidrelétrico Remanescente sem restrições

De acordo com a ANEEL (2007), os principais empreendimentos encontrados na MU1 possuem 125 MW de potencia instalada. Sendo assim, em comparação, o PHR bruto encontrado é pequeno (Tabela 3), equivalendo à cerca de 40% do potencial já instalado na MU1.

Tabela 3 - Pontos e potenciais estimados

Curso d'água	Quantidade de pontos	Potencial Remanescente (MW)
Rio Marambaia	1	1,35
Rio Mucuri	3	18,77
Rio Pampam	5	25,26
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>45,38</b>



Ao aplicar as restrições (Figura 3), os pontos levantados no Rio Mucuri são suprimidos, pois estão localizados dentro da área do reservatório da UHE Santa Clara. Os outros pontos levantados, não são afetados de forma direta pelos fatores restritivos, de forma que o resultado final representa do PHR da MU1.

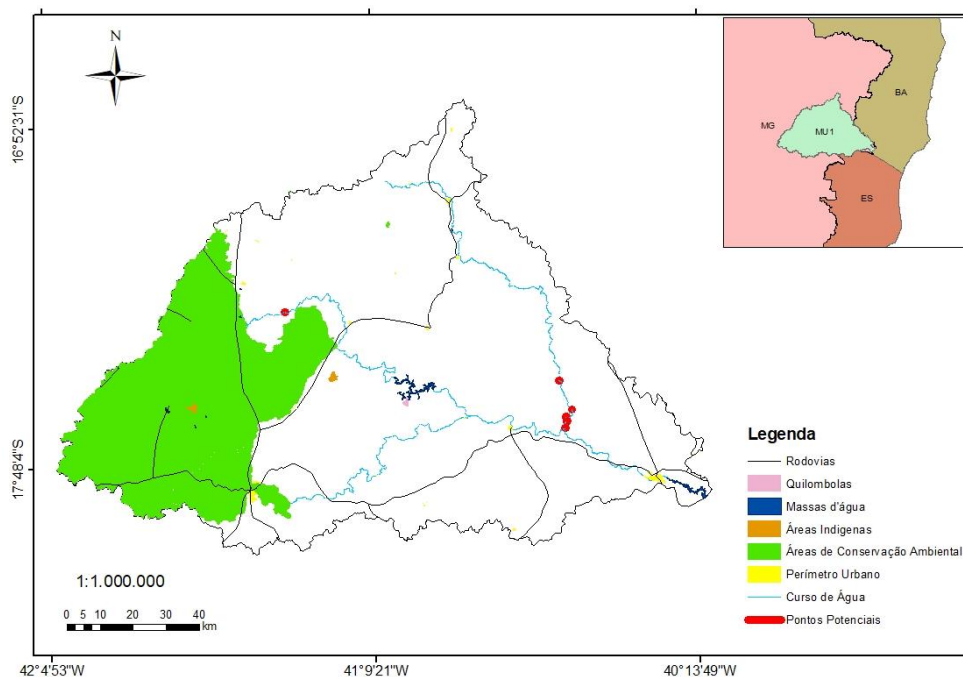


Figura 3 - Potencial Hidrelétrico Remanescente com restrições

Deste modo, o PHR encontrado na MU1 após a aplicação das restrições é de, aproximadamente, 20,12MW. Sendo assim, o valor levantado pode ser considerado baixo, o que representa uma expansão de no máximo, 14,2% do potencial (141,8MW) de geração hidrelétrica da região.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho, foi possível realizar uma estimativa preliminar do potencial hidrelétrico remanescente da Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri, determinando os possíveis pontos em que novos empreendimentos podem ser instalados sem causar impactos socioambientais elevados. Cabe destacar que o emprego de técnicas de geoprocessamento se mostrou adequado para uma primeira estimativa do potencial hidrelétrico e, que, em trabalhos futuros, o emprego de serviços de campo como a medição de vazão e levantamentos topográficos pode validar metodologia empregada e os seus resultados.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), Agência Nacional de Águas -. “*Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017*”. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas*. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 14 de abril de 2019

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “*Processo no 48500.003204/2007-72*”. v. 1, n. Volume 1, 2007. Disponível em: [http://sicnet2.aneel.gov.br/sicnetweb/default.asp?acao=detalhe&cod\\_protocolo=887854&id=15965334&email=alves.rodrigow@gmail.com](http://sicnet2.aneel.gov.br/sicnetweb/default.asp?acao=detalhe&cod_protocolo=887854&id=15965334&email=alves.rodrigow@gmail.com). Acesso em: 31 de março de 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, “*BIG – Banco de Informações de Geração*”, 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 14 de abril de 2019.

ASF DAAC, ALOS PALSAR\_Radiometric\_Terrain\_Corrected\_high\_res; Includes Material © JAXA/METI 2007. DOI: 10.5067/Z97HFCNKR6VA, 2015. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>. Acesso em: 31 de março de 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, *Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas* / Ministério de Minas e Energia, CEPEL. – Rio de Janeiro: E-papers, 2007. 684p.: il.

CAPIK, M.; OSMAN YILMAZ, A.; CAVUSOGLU, İ. “*Hydropower for sustainable energy development in Turkey: The small hydropower case of the Eastern Black Sea Region*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 8, p. 6160–6172, 1 out. 2012.

CYR, J. F.; LANDRY, M.; GAGNON, Y.. “*Methodology for the large-scale assessment of small hydroelectric potential: Application to the Province of New Brunswick (Canada)*”. *Renewable Energy*, v. 36, n. 11, p. 2940–2950, 1 nov. 2011.

ELETROBRAS. “*Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT)*”, 2018. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Potencial-Hidreletrico-Brasileiro.aspx>. Acesso em: 12 de abril de 2019.

ESRI. *ArcGIS Desktop: Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2011.

FANG, W., HUANG, Q., HUANG, S., YANG, J., MENG, E., LI, Y. “*Optimal sizing of utility-scale photovoltaic power generation complementarily operating with hydropower: A case study of the world’s largest hydro-photovoltaic plant*”, *Energy Conversion and Management*, vol. 136, pp. 161-172., 2017.

PEREIRA, G. M. “*Projeto de Usinas Hidrelétricas. Passo a Passo.*” 1a ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2015.

REN21, *Renewables 2018: global status report*, 2018.

SERPOUSH, B.; KHANIAN, M.; SHAMSAI, A. “*Hydropower plant site spotting using geographic information system and a MATLAB based algorithm*”. *Journal of Cleaner Production*, v. 152, p. 7–16, 2017.

WORLD ENERGY COUNCIL. “*World Energy Resources 2016*”. *World Energy Resources 2016*, p. 1–33, 2016.