



ESTUDO DA PEGADA HÍDRICA ASSOCIADA A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE USINAS HIDRELÉTRICAS

Luimonara Clementino Vieira¹, Andrezza Pereira de Matos², Ana Karine Gomes Duarte³ Rodolfo José Sabiá⁴

Resumo: Atualmente existe um uso exacerbado dos recursos naturais sem que haja uma preocupação com a capacidade de suprimento das necessidades das gerações futuras. Diante do descuido da geração atual, teorias e métodos foram idealizados com o objetivo de medir e gerir sustentabilidade para empresas e para a sociedade, em geral. Entre estes, podemos citar a Pegada Hídrica, uma métrica sustentável de mensurar o volume da água doce usado durante a cadeia de produção de um bem ou serviço, e o Método AHP, que é um método de tomada de decisão multicritério. Fazendo uso destes conceitos, foram estudadas as produções de energia elétrica de 12 (doze) usinas hidrelétricas que perpassam 4 (quatro) rios do território brasileiro. O presente trabalho ilustra os cálculos das pegadas hídricas e a demonstração de utilização do método AHP entre estas usinas, a fim de eleger a mais sustentável.

Palavras-chave: AHP. PEGADA HÍDRICA. SUSTENTABILIDADE. HIDRELÉTRICAS. ENERGIA ELÉTRICA.

1. Introdução

O estado atual da sociedade tem um excesso de recursos naturais sem perspectiva de crescimento. Podemos considerar a água a uma das principais causadora de conflitos no século, representado pela preponderância para a população. A bacia hidrográfica é conhecida por ser a unidade fundamental de contextualização da água na sociedade e seu respectivo equilíbrio, mas hoje essa visão foi extrapolada, levando a uma nova dimensão apontando para a importância da água para o desenvolvimento econômico, sociedade e o meio ambiente, por meio de fluxos de água virtuais e pegadas hídricas de outras bacias hidrográficas nacionais e internacionais, validam sua relevância diante do que tradicionalmente se entende como uso direto da água pela maioria da população.

A água virtual pode ser definida como a quantidade de água utilizada para produzir bens, produtos ou serviços a partir da água necessária no processo de produção. Nesse contexto, todas as atividades que envolvem o uso dos recursos hídricos passam a exigir um novo contexto, e para uma gestão eficiente e

-
- 1 Universidade Regional do Cariri, luimonara.clementino@urca.br
 - 2 Universidade Regional do Cariri, andrezza.matos@urca.br
 - 3 Universidade Regional do Cariri, karine.duarte@urca.br
 - 4 Universidade Regional do Cariri, rodolfo.sabia@urca.br



sustentável é necessário mensurar a quantidade de cada um. A pegada hídrica representa um indicador de sustentabilidade hídrica e permite a análise direta ou indireta do uso da água por consumidores ou produtores.

Considerando essa perspectiva se amplia a intuição de fluxo de água virtual assim levando as pessoas a entender a importância da conservação da água. A importância da água para países, regiões e estados é evidenciada através do processo de crescimento.

2. Objetivo

Com o objetivo de estimar a pegada hídrica associada a produção de energia hidrelétrica, com o auxílio do método de tomada de decisão AHP. Os métodos como, cálculo da pegada hídrica relacionado as hidrelétricas, a estimativa da evaporação e a utilização do método AHP serão utilizados para compor o projeto.

3. Metodologia

3.1. Estimativa da pegada hídrica

O cálculo da pegada hídrica (PH) foi desenvolvido por Mekonnen e Hoekstra (2012), dado pela equação abaixo:

$$PH = \frac{EV}{G} \quad (4)$$

Em que: PH é a pegada hídrica relacionada ao reservatório da usina, em $m^3 GJ^{-1}$;

EV é a evaporação associada ao reservatório, em $m^3 ano^{-1}$ ou $m^3 mês^{-1}$;

G é a energia gerada pela unidade geradora associada ao reservatório, em $GJ ano^{-1}$ ou $GJ mês^{-1}$.

3.2. Método AHP

Os métodos Multicritério de Tomada de Decisão (MCDM) auxiliam os tomadores de decisão a resolver problemas de decisão complexos que envolvem critérios conflitantes de forma sistemática e maneira consistente (Mardani et al. 2015). Dessa forma, o Analytical Hierarchy Porcess (AHP) é um dos métodos de tomada de decisão multicritério mais aplicado no mundo.

Além do mais, o AHP foi proposto por Saaty (1977) a partir de uma estrutura hierárquica e comparações de pares, foi amplamente aplicada em todas as áreas de pesquisa, incluindo ciência e tecnologia ambiental nos últimos anos (Emrouznejad e Marra, 2017; Creed et al., 2017). Outrossim, o método AHP fundamenta-se em três etapas: construção de hierarquias através da estruturação do problema, estabelecimento de pesos para critérios e preferência para as alternativas e por fim, análise dos resultados (TRAMARICO; SALOMON; MARINS, 2012). Com esta abordagem, cada elemento na hierarquia pode ser

VII SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA – XXV

Semana

de Iniciação Científica da URCA e VIII Semana de Extensão da URCA

12 a 16 de dezembro de 2022

Tema: “DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, INDEPENDÊNCIA E SOBERANIA NACIONAL”



comparado com os outros elementos por sua importância relativa (Tavana e Hatami- Marbini, 2011). Isso é conseguido decompondo uma tomada de decisão em uma hierarquia de subproblemas mais fáceis de compreender, cada um dos quais pode ser analisado de forma independente (Asgari et al.,2015).

No método do AHP, as comparações realizadas são primordiais para a tomada de decisão. O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. Essa capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas (VARGAS, 2010).

4. Resultados

Os resultados da pegada hídrica referentes a produção de energia elétrica a partir de usinas hidrelétricas foram obtidos através do cálculo de 3 usinas em 4 rios eles são: Paraná, Paranaíba, Tocantins e São Francisco.

Tabela 1 – Pegada Hídrica das principais usinas hidrelétricas no Brasil

Usina Hidrelétrica	Rio	Reservatório (Km ²)	Potência Instalada (MW)	Geração Média (MW)	Evaporação (mm/ano)	PH (m ³ /GJ)
Itaipu	Paraná	1350	14000	10521	1305	5,3
Ilha Solteira	Paraná	1358	3444	1985	1597	35
Porto Primavera (Eng. Sergio Motta)	Paraná	2250	1540	1190	1461	88
Emborcação (Theodomiro Santiago)	Paranaíba	432	1192	455	371	47
Itumbiara	Paranaíba	749	2082	940	544	40
São Simão	Paranaíba	716	1710	1388	569	26
Serra da Mesa	Tocantins	1254	1275	711	673	93
Luiz Eduardo Magalhães (Lajeado)	Tocantins	704	903	564	477	69
Tucuruí	Tocantins	2430	8370	4541	99	28
Três Marias	São Francisco	1040	396	252	479	200
Sobradinho	São Francisco	4214	1050	460	1121	555
Luiz Gonzaga (Itaparica)	São Francisco	836	1480	873	830	57

Fontes: ANEEL (2015a), ONS (2015), ANEEL (2015b) e SISEVAPO (ONS).

Os dados de área do reservatório, potência instalada e geração de energia (de 2010 a 2012) foram obtidos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015). Podemos observar na Tabela 1 que dentre a 12 usinas analisadas a de Itaipu obteve o índice de produção é de 10,4 MW/km², sendo assim a com a menor pegada hídrica.

VII SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA – XXV

Semana

de Iniciação Científica da URCA e VIII Semana de Extensão da URCA

12 a 16 de dezembro de 2022

Tema: “DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, INDEPENDÊNCIA E SOBERANIA NACIONAL”



Existe uma variação $555 \text{ m}^3/\text{GJ}$ para Sobradinho (decorrente do extenso espelho d'água e alta evaporação) a $5,3 \text{ m}^3/\text{GJ}$ em Itaipu (devido à elevada geração de energia). A usina hidrelétrica de Três Marias obteve $0,38 \text{ MW}/\text{km}^2$ da capacidade de geração de energia por área inundada sendo a segunda menor, sendo superior apenas a de Sobradinho que obteve a menor capacidade de apenas $0,25 \text{ MW}/\text{km}^2$.

Utilizando o método AHP foi possível identificar por meio de critérios qual o mais relevante para obter uma hidrelétrica mais sustentável, os critérios adotados foram reservatórios, Potência Instalada, Geração Média, Evaporação e PH. Dentre estes o mais relevante foi a Pegada Hídrica com aproximadamente 71% e o menos relevante foi a evaporação com 4%.

Logo em seguida foi realizada uma análise para identificar a Hidrelétrica mais sustentável de cada bacia hidrográfica.

Tabela 2- Relação de hidrelétrica mais sustentáveis

bacia	Hidrelétrica
Paraná	Itaipu
Paranaíba	São Simão
Tocantins	Tucuruí
São Francisco	Sobradinho

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA (2022).

5. Conclusão

Com base nos resultados apurou as seguintes informações: A Usina Hidrelétrica com a menor Pegada hídrica foi a de Itaipu que se localiza na bacia do rio Paraná com $5,3 \text{ m}^3/\text{GJ}$ e com a maior foi Sobradinho localizada no rio São Francisco com $555 \text{ m}^3/\text{GJ}$. Já no que desrespeita o AHP Foi possível analisar 5 critérios onde dentre eles o mais relevante para uma hidrelétrica mais sustentável foi a Pegada Hídrica. Essas informações são de suma importância pois mensura a sustentabilidade da usina e a partir disso podem identificar métodos para tentar minimizar os danos causados ao meio ambiente.

Além disso este trabalho servirá de base científica para futuras pesquisas relacionadas ao tema abordado, reforçando a importância do cálculo da Pegada Hídrica e do método da utilização do AHP para gestão da sustentabilidade.

6. Referências

ANEEL, 2015a. Sistema de Informações Georeferenciadas do Setor Elétrico - SIGEL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Disponível em <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>. Acesso em Agosto de 2022.

VII SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA – XXV

Semana

de Iniciação Científica da URCA e VIII Semana de Extensão da URCA

12 a 16 de dezembro de 2022

Tema: “DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, INDEPENDÊNCIA E SOBERANIA NACIONAL”



ANEEL, 2015b. Compensação Financeira Pela Utilização de Recursos Hídricos. Histórico da Geração. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/cmpf/gerencial/>. Acesso em Agosto de 2022.

ASGARI, N., Hassani, A., Jones, D., Nguye, H.H., 2015. Sustainability ranking of the UK major ports: methodology and case study. *Transport Res. Part E, Logist. Transport. Rev.* 78, 19–39.

CREED, I. F. et al. Enhancing protection for vulnerable waters. *Nature Geoscience*, v. 10, n. 11, p. 809±815, 2017.

EMROUZNEJAD, A., Marra, M., 2017. The state of the art development of AHP (1979– 2017): a literature review with a social network analysis. *Int. J. Prod. Res.* 7543, 1–23.

MARDANI, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Jusoh, A., Nor, K.M., 2015. Multiple criteria decisionmaking techniques in transportation systems: a systematic review of the state of the art literature.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 16, p. 179-187, 2012.

ONS. Diagrama Esquemático das Usinas Hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional - SIN. Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Agosto de 2022. Disponível em http://www.ons.org.br/download/mapas_sin/arquivo/Hidroeletricas2015-2019.

SAATY, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.*

TAVANA, M., Hatami-Marbini, A., 2011. A group AHP-TOPSIS framework for human spaceflight mission planning at NASA. *Expert Syst. Appl.* 38 (11), 13588– 13603.

TRAMARICO, C., SALOMON, V., MARTINS, F., & MUNIZ Jr., J. Modelagem com AHP e BOCR para a seleção de prestadores de serviços logísticos. *Pesquisa Operacional Para O Desenvolvimento*, 4(2), 139-159,2012.

VARGAS, R., 2010. Utilizando a Programação Multi-critério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio. *PMI Global Congress 2010*, Washington, E.U.A.