

IMPACTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS DECORRENTES DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR DIFERENTES FONTES DE ENERGIA

1 Introdução

Nos últimos anos, em decorrência ao crescimento populacional (THE WORD BANK, 2020) houve um aumento na demanda de energia elétrica no mundo (IEA, 2020a). A inevitabilidade de produzir mais eletricidade para atender as necessidades da população vai além da capacidade instalada atual, gerando como consequência a ampliação do sistema energético (EPE, 2018; GAVRONSKI; SAMPAIO, 2007; SAIDUR et al., 2011) e com isto impactos ambientais decorrentes da construção e operação de novas usinas (EPE, 2018).

O principal problema na geração de eletricidade é que 67% da produção mundial (10.159.646.00 GWh em 2018) é decorrente da queima de combustíveis fósseis e consequente emissão de CO₂ (IEA, 2020a), tornando o setor energético um importante contribuinte para o agravamento do aquecimento global. Entretanto, neste panorama o Brasil se destaca mundialmente por ser considerado um dos países menos intensivos na emissão de CO₂ no setor elétrico (IEA, 2020b), já que dos 580.000GWh produzidos em 2016, 60% foi gerado por hidroelétricas e outros 15% por outras fontes renováveis (EPE, 2018).

Apesar deste cenário positivo, a emissão de CO₂ não é a única responsável por gerar impactos. Portanto, a ampliação do sistema energético brasileiro, por mais que se baseie em fontes de energia renováveis e “limpas”, deve ser avaliada dentro dos conceitos de sustentabilidade (impactos ambientais, sociais e econômicos) de forma a não mascarar malefícios provocados pela ampliação desmedida do sistema, tomando como base apenas um fator ambiental: a emissão de CO₂.

Por isto, este trabalho visa avaliar quais os impactos são promovidos por diferentes formas de geração de energia durante a construção e manutenção das atividades nas usinas.

2 Metodologia

Através de uma revisão bibliográfica, foram coletados na literatura os principais impactos ambientais, sociais e econômicos gerados por cinco fontes de energia elétrica: hidroelétrica, termoelétrica, nuclear, solar e eólica. Os dados foram, então, organizados em matrizes, usando como forma de categorização os indicadores de impacto ambiental *midpoints* do método CML 2002 (MENDES et al., 2016) e os indicadores de impactos sociais e econômicos do método da ONU (2020). Esses métodos foram escolhidos para mostrar quais outros impactos ocorrem como consequência da ampliação do sistema energético, além das emissões de CO₂.

Entre os 25 indicadores de impacto descritos pelo método CML 2002, foram excluídos da matriz de categorização os *midpoints* que não se aplicavam a nenhum impacto encontrado para o estudo de caso proposto, desta forma foram considerados como indicadores: “Depleção de recursos abióticos”, “Depleção de recursos bióticos”, “Uso de terra”, “Mudança climática”, “Toxicidade humana”, “Eco toxicidade Terrestre”, “Formação de foto-acidificação”, “Eutrofização”, “Perda de suporte à vida”, “Perdas de biodiversidade”, “Impactos de radiação”, “Barulho” e “Mau cheiro da água”.

Já o método de classificação de impactos sociais e econômicos da ONU considerou como categorias de impacto “Direitos humanos”, “Condições de trabalho”, “Saúde e segurança”, “Herança cultural”, “Governança” e “Repercussões sócio econômicas” para os seguintes *stakeholders*: “Trabalhadores”, “Comunidade local” e “Sociedade”. “Consumidores” e “Atores

da cadeia de valores” foram excluídos da avaliação.

Em seguida foi feita a classificação qualitativa das matrizes por meio de critério de cores, atribuindo relevância aos impactos encontrados e discutiu-se os resultados com base na literatura averiguada.

3 Resultados

A Figura 1 categoriza os impactos ambientais coletados na literatura das fontes de eletricidade mais comuns no Brasil.

Vê-se que as termoelétricas, ativadas para suprir a demanda das hidroelétricas em horários de pico ou em períodos de seca, têm como impactos mais recorrentes a mineração e queima de combustíveis, tanto fósseis quanto minerais (DHAR et al., 2020; SANTOS et al., 2013). Esses impactos são responsáveis pela “depleção de recursos bióticos”, “depleção de recursos abióticos”, “mudanças climáticas”, “toxicidade humana”, “formação de foto-oxidantes” e “acidificação”.

Apesar disso, a literatura demonstra que as outras fontes de energia consideradas “limpas” também geram impactos ambientais. As usinas hidroelétricas, por exemplo, impactam principalmente com o alagamento do reservatório e com a mortalidade da fauna e flora regional (SOITO; FREITAS, 2011), itens constituintes dos *midpoints* “uso de terra” e “perda de biodiversidade”, respectivamente. Apesar de serem as mais comuns no país, o potencial de geração de energia hidroelétrica está comprometido (MALAGUETA et al., 2014), já que 70% das áreas favoráveis à construção de reservatórios no Brasil encontram-se longe dos centros urbanos e em áreas de preservação ambiental (EPE, 2018). Isso nos leva a aumentar a proporção de fontes alternativas no sistema, que implicam em outros impactos ambientais.

A geração de eletricidade por meio de energia solar, por exemplo, exige o uso intensivo de materiais, inclusive elementos raros como o cádmio (Cd), que passam por um processamento que consome muita energia elétrica, além de possível a liberação de substâncias tóxicas em caso de incêndios (TSOUTSOS; FRANTZESKAKI; GEKAS, 2005), causando, portanto, “perda de recursos abióticos”, “mudanças climáticas” e “toxicidade humana”.

As usinas nucleares influenciam negativamente no meio ambiente devido a extração e o descarte dos resíduos radioativos (SANTOS et al., 2013), resultando em “depleção dos recursos abióticos”, “eco toxicidade terrestre” e “impactos de radiação ionizante”.

Por fim, os parques eólicos são os que menos impactaram o meio ambiente, entretanto, ainda são responsáveis pela morte de pássaros e morcegos (SAIDUR et al., 2011). Pesquisas apontam que dependendo da localidade nos EUA as mortes por colisão variaram de 20.000 a 234.000 em 2013 (DHAR et al., 2020), gerando “perda de biodiversidade”.

Através dessa análise, percebe-se que apesar do Brasil emitir baixa quantidade de CO₂ pela ativação de suas termoelétricas, os impactos ambientais decorrentes da adoção de outras fontes de energia ainda são preocupantes.

Em contrapartida, a construção dessas usinas gera mais benefícios do que malefícios para a sociedade. Vê-se pela análise dos impactos sociais e econômicos, Figura 2, que os principais stakeholders envolvidos na ampliação do sistema energético (trabalhadores, comunidade local e sociedade) se beneficiam da construção das usinas. Um dos motivos é o aumento da empregabilidade em setores como a construção civil, mecânica e eletrônica (DHAR et al., 2020; VON SPERLING, 2012).

Figura 1 – Matriz de impactos ambientais por fonte de eletricidade

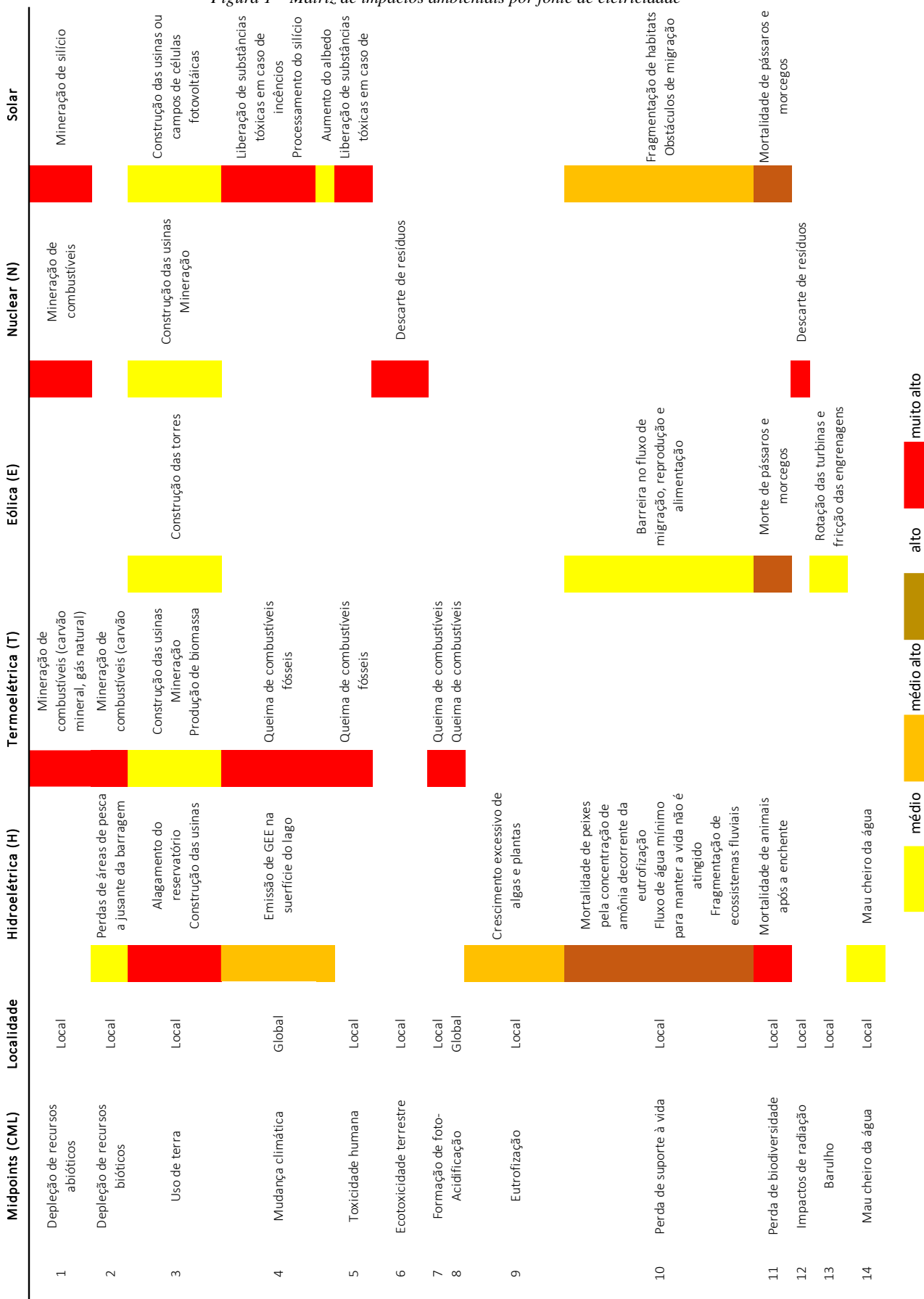
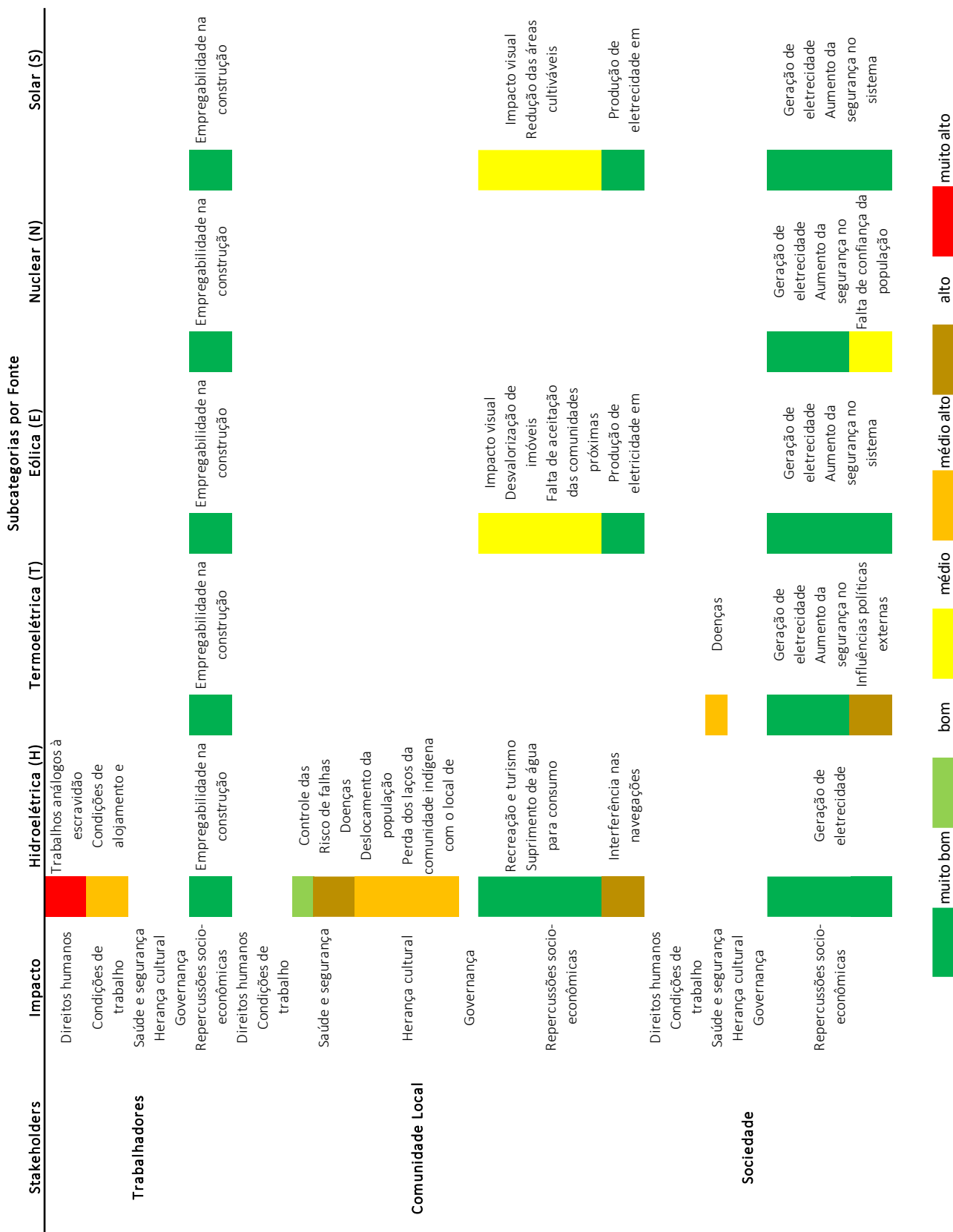


Figura 2 – Matriz de impactos socio econômicos por fonte



Já as comunidades locais são atingidas por malefícios como impactos visuais, desvalorização

de imóveis (SAIDUR et al., 2011) e perda de áreas cultiváveis (TSOUTSOS; FRANTZESKAKI; GEKAS, 2005), entretanto, a geração de energia nas áreas rurais promove o desenvolvimento das comunidades afastadas das cidades (LORA; ANDRADE, 2009).

Outro benefício encontrado é a geração de mais energia e aumento de segurança no sistema, fator importante, já que impede que o país seja refém de uma fonte majoritária de eletricidade, influenciada pelas variações climáticas, que foram responsáveis pela crise energética de 2001 (GAVRONSKI; SAMPAIO, 2007), ou geopolíticas, como a interrupção do fornecimento de gás natural da Bolívia ao Brasil em 2005 (SANTOS et al., 2013).

4 Discussão

Baseado nos dados apresentados, vê-se que independentemente da fonte de energia elétrica utilizada, todas são responsáveis por impactos ambientais negativos. Entretanto, nota-se também que os impactos sociais e econômicos, em geral, são positivos.

Pela análise individual, percebe-se que as termoelétricas interferem diretamente no meio ambiente devida queima de combustíveis (GAVRONSKI; SAMPAIO, 2007), entretanto, promovem a geração de emprego, inclusive de mão de obra pouco especializada na construção das usinas.

As usinas solares, por sua vez, causam mais impactos negativos durante a extração e produção dos seus componentes (TSOUTSOS; FRANTZESKAKI; GEKAS, 2005), mas em geral tem pouco impacto durante o uso a menos que ocorram acidentes, como incêndios, que promovem a liberação de substâncias tóxicas. Sua construção é atribuída à mão de obra especializada, gerando pouco benefício ao mercado de trabalho, entretanto, é de fácil alocação promovendo geração de eletricidade em locais remotos.

As usinas hidrelétricas, maiores produtoras de eletricidade do país, tem os principais impactos ambientais atribuídos à destruição da biota local pelo alagamento do seu reservatório (VON SPERLING, 2012), entretanto, os impactos podem ir muito além. A Usina de Tucuruí, por exemplo, inundou 2800km² e realocou 4407 famílias gerando isolamento de comunidades ribeirinhas, assentamentos desordenados e irregulares, falta de infraestrutura, proliferação de moscas, intensificação de extração predatória de madeira, perda de áreas de pesca à jusante da barragem, aumento dos cardumes à montante da barragem, mortes de animais após a enchente, emissão de gases do efeito estufa na superfície do lago, reassentamento da população em locais impróprios para agricultura, auto nível de abandono ou realocação dos ribeirinhos, pressão na estrutura imobiliária, destruição dos laços indígenas das tribos que viviam na área, distribuição seletiva de energia, conflitos entre pescadores comerciais e familiares, problemas relacionados ao pagamento de compensação às famílias realocadas e perda da biodiversidade local (SOITO; FREITAS, 2011).

Já as usinas nucleares têm índices de confiabilidade maiores que as outras opções, baixo custo operacional, geração de grande quantidade de energia com baixa emissão de gases do efeito estufa (aproximadamente 10g a 50g de CO₂/kWh) e o aumento nas tecnologias de segurança nos últimos anos vem tornando acidentes como o da usina de Fukushima menos prováveis. Entretanto, problemas relacionados ao descarte de resíduos, opinião pública e competitividade econômica, impedem a difusão desta fonte de energia no país, que só conta com 2 usinas em operação, mesmo tendo a 6ª maior reserva de urânio do mundo, suficiente para abastecer 32 usinas semelhantes à Angra II por toda a vida útil (SANTOS et al., 2013).

As usinas eólicas, por sua vez, são as que menos promovem impactos ambientais, normalmente relativos à morte de aves (DHAR et al., 2020). Já os impactos socioeconômicos se baseiam principalmente em barulho e uso de terra, tornando-a a fonte de energia elétrica menos degradante nos quesitos ambientais e socioeconômicos.

Assim sendo, como afirma o relatório da EPE (2018):

“Considerando que qualquer transformação energética invariavelmente causa impactos socioambientais, que a mitigação e/ou compensação destes impactos resultam em custos adicionais e que fontes renováveis de energia são intrinsecamente incertas e variáveis, o suprimento de energia sempre apresentar-se-á como um problema com objetivos múltiplos e conflitantes, não sendo trivial, por vezes, sua solução.”

Com isso, nota-se que os impactos ambientais, sociais e socioeconômicos são inevitáveis, entretanto, novas alternativas devem ser pensadas como forma de postergar a ampliação do sistema energético, mitigando os impactos decorrentes da construção e uso das novas usinas. Alternativas como o aumento da eficiência energética residencial e industrial, tecnologias passivas, como superfícies frias, e o estudo arquitetônico de otimização de abertura de janelas demonstram ter potencial para postergar os investimentos no sistema energético (CALILI et al., 2014; JANNUZZI, 2002; PATTERSON, 1996; ROSA; LOMARDO, 2004).

5 Conclusões

A ampliação do sistema energético causa impactos ambientais, sociais e econômicos independente da fonte de energia elétrica utilizada, de forma que o uso de emissões de CO₂, atribuído principalmente às termoelétricas, como parâmetro único de sustentabilidade mascara impactos graves decorrentes de fontes alternativas de energia. Dentre as fontes de energia avaliadas, a energia eólica apresenta-se como a menos agressiva ambiental e socioeconomicamente.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Me. Jeferson Brás de Lima e à Me. Fernanda Belizário da Silva pela ajuda durante todo o trabalho, à Me. Liz Zanchetta e aos Eng Welles Oliveira e Leonardo Machado pela ajuda nas revisões e ao Prof. Dr. Vanderley M. John e Prof. Dr. Sérgio Ângulo pela dedicação e incentivo que tiveram ao me orientar quando eu propus esse trabalho.

Referências

CALILI, R. F. et al. Estimating the cost savings and avoided CO₂ emissions in Brazil by implementing energy efficient policies. **Energy Policy**, v. 67, p. 4–15, 1 abr. 2014.

DHAR, A. et al. Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. **Science of The Total Environment**, v. 718, p. 134602, 20 maio 2020.

EPE. **Nota técnica PR 07/18 - Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte de 2050**: Estudos de Longo Prazo. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas e Ministério de Minas e Energia, nov. 2018.

GAVRONSKI, J. D.; SAMPAIO, C. H. Thermal and renewable sources to sustain the growth of the Brazilian Electric System. **Utilities Policy**, v. 15, n. 4, p. 278–280, 1 dez. 2007.

IEA. **Brazil - Countries & Regions**. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/brazil>>. Acesso em: 4 maio. 2020a.

IEA. **Data & Statistics**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics>>. Acesso em: 26 set. 2020b.

JANNUZZI, G. D. M. **AUMENTANDO A EFICIÊNCIA NOS USOS FINAIS DE ENERGIA NO BRASIL**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, 2002.

LORA, E. S.; ANDRADE, R. V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 777–788, 1 maio 2009.

MALAGUETA, D. et al. Potential and impacts of Concentrated Solar Power (CSP) integration in the Brazilian electric power system. **Renewable Energy**, v. 68, p. 223–235, 1 ago. 2014.

MENDES, N. C. et al. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160–175, mar. 2016.

ONU. **Social Life Cycle Assessment (S-LCA) – Life Cycle Initiative**, 2020. Disponível em: <<https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/social-lca/>>. Acesso em: 25 set. 2020

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, v. 24, n. 5, p. 377–390, 1 maio 1996.

ROSA, L. P.; LOMARDO, L. L. B. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 2, p. 89–95, 1 fev. 2004.

SAIDUR, R. et al. Environmental impact of wind energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2423–2430, 1 jun. 2011.

SANTOS, R. L. P. DOS et al. The importance of nuclear energy for the expansion of Brazil's electricity grid. **Energy Policy**, v. 60, p. 284–289, 1 set. 2013.

SOITO, J. L. DA S.; FREITAS, M. A. V. Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 3165–3177, 1 ago. 2011.

THE WORD BANK. **WDI - Home**. Disponível em: <<http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. Environmental impacts from the solar energy technologies. **Energy Policy**, v. 33, n. 3, p. 289–296, 1 fev. 2005.

VON SPERLING, E. Hydropower in Brazil: Overview of Positive and Negative Environmental Aspects. **Energy Procedia**, Terragreen 2012: Clean Energy Solutions for Sustainable Environment (CESSE). v. 18, p. 110–118, 1 jan. 2012.