

Article

Revisão Sistemática Sobre os Propósitos Globais para o Desenvolvimento de Usinas Fotovoltaicas: Enfoque nas Consequências Ambientais e Performance de Geração

Márcio José Dias¹, Lucas Figueiredo Ribeiro², Davi Bernhard de Souza³, Sonimar Ribeiro Mendonça Dias⁴, Sandro Dutra e Silva⁵

¹ Doutorando em Ciências Ambientais. Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0009-0006-4046-176X. E-mail: prof.eng.marciodias@gmail.com

² Mestre em Ciências Ambientais. Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0000-0003-3136-8345. E-mail: lucfigrib@gmail.com

³ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0000-0002-0362-8157. E-mail: davi.souza@unievangelica.edu.br

⁴ Especialização em Auditoria em Serviços de Saúde. Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0009-0002-4945-1446. E-mail: sonimar.dias@unievangelica.edu.br

⁵ Doutor em História. Universidade Estadual de Goiás e Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0000-0002-0001-5726. E-mail: sandrodutra@unievangelica.edu.br

RESUMO

A proposta ideal para a implantação de uma usina fotovoltaica deve ser cuidadosamente planejada, considerando diversos fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Este estudo apresenta uma revisão sistemática e cienciométrica dos propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco nas consequências ambientais e na performance de geração. Foram analisados 3960 artigos científicos da plataforma Scopus, dos quais 31 foram selecionados com base em critérios rigorosos de inclusão. A análise revelou que a maioria dos estudos (77,4%) se concentra na performance de geração, enquanto apenas 19,4% foca nas consequências ambientais. Discutimos a importância de equilibrar a eficiência operacional com considerações ambientais para garantir um avanço sustentável na energia fotovoltaica. Observamos também uma predominância de publicações dos Estados Unidos, Suíça e Reino Unido, destacando a relevância econômica e científica dessas nações. O estudo conclui que, apesar do foco na otimização da performance, há uma necessidade crítica de maior atenção aos impactos ambientais para promover um futuro energético sustentável. Apesar de não serem tratadas com evidência as questões ambientais das implantações das usinas, uma vez que implantadas, esses indicadores são indiretamente alcançados.

Palavras-chave: UF; avaliação de sustentabilidade; eficiência energética; benefícios e impactos ambientais.

ABSTRACT

The ideal proposal for the implementation of a photovoltaic power plant must be carefully planned, considering various technical, economic, environmental, and social factors. This study presents a systematic and scientometric review of the global purposes for the implementation of photovoltaic power plants, focusing on environmental consequences and generation performance. A total of 3960 scientific articles from the Scopus platform were analyzed, of which 31 were selected based on strict inclusion criteria. The analysis revealed that the majority of the studies (77.4%) focus on generation performance, while only 19.4% focus on environmental consequences. We discuss the importance of balancing operational efficiency with environmental considerations to ensure sustainable advancement in photovoltaic energy. We also observed a predominance of publications from the United States, Switzerland, and the United Kingdom, highlighting the economic and scientific relevance of these nations. The study concludes that, despite the focus on performance optimization, there is a critical need for greater attention to environmental impacts to promote a sustainable energy



Submissão: 14/07/2024



Aceite: 04/08/2025



Publicação: 04/09/2025



future. Although environmental issues related to the implementation of the plants are not prominently addressed, once implemented, these indicators are indirectly achieved.

Keywords: UF; sustainability assessment; energy efficiency; environmental benefits and impacts.

Introdução

A busca por formas alternativas de energia no Brasil está associada a um conjunto amplo de variedades históricas em que a busca pelo desenvolvimento favoreceu modelos baseados em estruturas de engenharia e construção de barragens hidrelétricas (Silva 2018). Mesmo parecendo ser modelos ecologicamente sustentáveis, principalmente como alternativa aos combustíveis fósseis, as hidrelétricas trazem também passivos socioambientais pesados (Johnson 2021).

A adoção de usinas fotovoltaicas reflete uma mudança significativa na maneira como as sociedades geram e consomem energia. Esta transição busca soluções energéticas econômicas e viáveis para grandes corporações e consumidores individuais. No entanto, a função principal dessas instalações, a geração de energia limpa e sustentável, muitas vezes fica em segundo plano. A energia solar fotovoltaica, que converte luz solar em eletricidade, destaca-se como opção atraente, especialmente onde os custos da energia tradicional estão aumentando (Arimoto 2011; De Luna Pamanes et al. 2020; Meho 2020).

Empresas e instituições estão mais inclinadas a instalar usinas fotovoltaicas de grande porte, como complexos ou parques solares, enquanto telhados de residências são aproveitados para instalações de pequeno porte. Este movimento é evidenciado pela rápida expansão do número de instalações fotovoltaicas, vistas como um investimento em sustentabilidade e economia. A redução dos custos de instalação e manutenção, aliada ao aumento da eficiência das tecnologias fotovoltaicas, tem motivado diversos setores a adotar esta fonte de energia.

Embora as vantagens ambientais das usinas fotovoltaicas - geração de energia renovável sem emissões diretas de gases de efeito estufa - sejam reconhecidas, frequentemente ocupam um lugar secundário nas motivações para adoção dessa tecnologia. Para muitos investidores e consumidores, os benefícios ambientais são vistos como um bônus adicional aos benefícios econômicos imediatos. Esse fenômeno é notável especialmente em regiões onde as políticas ambientais e incentivos para energias renováveis são menos robustos, levando as considerações financeiras a predominarem na adoção de energia solar.

A governança universitária é fundamental para a sustentabilidade das instituições de ensino superior, influenciada por ranqueamentos que destacam a produção científica e a sustentabilidade além da governança financeira. Instituições globais ajustam suas políticas para atender aos critérios internacionais de excelência, focando em metas de desempenho baseadas na produtividade científica e responsabilidade social (Dutra e Silva et al. 2021).

Contudo, essa orientação econômica não diminui a importância estratégica das usinas fotovoltaicas na matriz energética global. À medida que mais entidades reconhecem a energia solar como solução econômica, há um aumento nos investimentos em capacidade de produção e inovação tecnológica, beneficiando o ambiente pela redução da dependência de combustíveis fósseis. Esta evolução está alinhada com uma visão de desenvolvimento sustentável, onde metas econômicas e ambientais começam a convergir, mesmo que inicialmente motivadas por razões econômicas (Empresa de Pesquisa Energética – EPE 2023; Ministério de Minas e Energia – MME 2023).

Portanto, a expansão das usinas fotovoltaicas representa uma tendência global crescente, onde o imperativo econômico pavimenta o caminho para uma revolução energética mais ampla, apoiando os objetivos de sustentabilidade de longo prazo. À medida que a tecnologia evolui e os custos diminuem, espera-se que os



benefícios ambientais das usinas fotovoltaicas ganhem destaque, promovendo um futuro energético mais limpo e sustentável (Barbosa Filho et al. 2015; ECOM 2020).

Assim, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática dos propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco em estudos de artigos científicos e outros trabalhos de pesquisa que investigaram os benefícios e/ou impactos ambientais dessas implantações, bem como a qualidade da energia gerada por essas usinas.

Referencial Teórico

A Revisão Sistemática é um método de pesquisa que identifica, avalia e sintetiza as evidências relacionadas a uma pergunta de pesquisa específica. Envolve uma abordagem estruturada para reunir, analisar e interpretar a literatura sobre um tópico. Paralelamente, a Cienciometria quantifica atividades científicas e tecnológicas e foca em aspectos como o número de citações, países de origem, afiliações dos autores, e revistas de publicação (Galvão e Ricarte 2019; Kugley et al. 2017; Macias-Chapula 1998; UNESP 2012).

Conceitos de Energia

Para alinhar os conteúdos do texto deste trabalho científico com o princípio da conservação de energia, conhecido como a Primeira Lei da Termodinâmica, que estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada, serão adotadas as expressões "produção" e "geração" de energia elétrica (Moran et al. 2018).

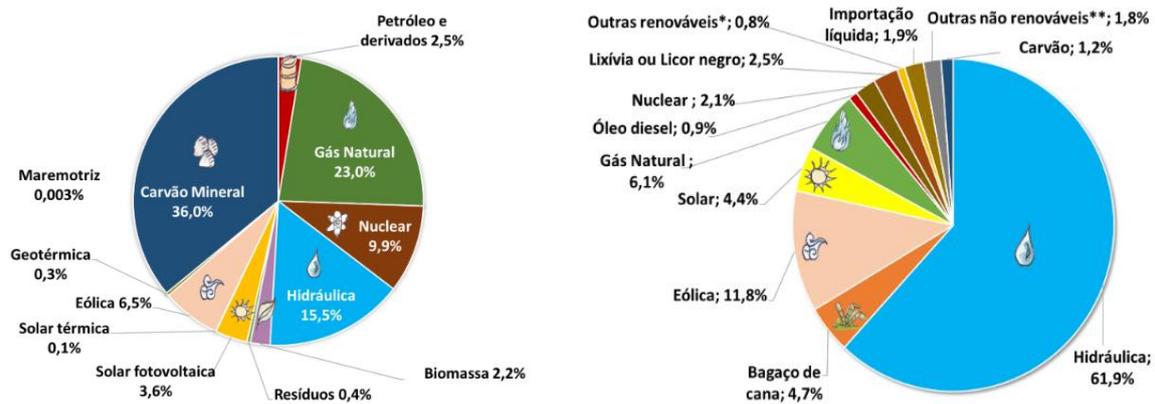
Com base nas informações da EPE (2023), percebe-se uma confusão de entendimento sobre os conceitos entre matriz energética e matriz elétrica. A matriz energética inclui fontes para veículos, fogões e eletricidade, enquanto a matriz elétrica se restringe à geração elétrica, sendo parte da matriz energética. A matriz energética engloba fontes renováveis e não renováveis. A energia renovável, de acordo com os conceitos de Bozio (2018) é aquela obtida a partir de fontes naturais que são praticamente inesgotáveis e capazes de se regenerar ao longo do tempo. Diferentemente dos combustíveis fósseis, cujas reservas são limitadas e não renováveis, as fontes de energia renovável são sustentáveis a longo prazo.

A energia elétrica é de fundamental importância para o desenvolvimento das sociedades atuais, pode gerar luz, calor, som e força mecânica. Amplamente usada, ela é gerada principalmente em usinas hidrelétricas, aproveitando o potencial da água, mas também em usinas eólicas, termoeletricas, solares e nucleares (EPE 2023; MME 2022, 2023).

Composição das matrizes elétricas mundial e brasileira

Com base nos indicadores disponibilizados pelo MME (2022, 2023) e pela EPE (2023, 2024) a matriz elétrica mundial é predominantemente sustentada por fontes não renováveis, especialmente por meio do uso de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural, em termelétricas, conforme ilustrado na Figura 1a. No entanto, essa pesquisa também revela que o levantamento atualizado da composição da matriz elétrica brasileira é majoritariamente composta por fontes renováveis, divergindo, assim, da matriz elétrica mundial. Tais indicadores de composição são apresentados na Figura 1b.

Ao analisar os indicadores, pode-se verificar que as fontes renováveis, como solar e eólica, compõem apenas 10,1% da matriz elétrica global. Incorporando a contribuição da energia hidráulica, a participação total das fontes renováveis atinge 25,6%. A composição da matriz elétrica brasileira difere significativamente da média mundial, revelando uma utilização mais expressiva de fontes renováveis hidráulicas. A combinação das fontes geradoras solar, eólica e hidráulica, alcança notáveis 78,1%, representando mais da metade da matriz elétrica nacional. Notavelmente, 61,9% desse total provêm da geração por meio do processo hidráulico.



Matriz Elétrica Mundial 2021 (primeiro gráfico). Matriz Elétrica Brasileira 2022 (segundo gráfico)

Figura 1: Composição das matrizes elétrica mundial e brasileira. Fonte: (EPE 2022 e 2023)

Importância e impactos das usinas hidrelétricas e eólicas

Bermann (2012) conceitua que as usinas hidrelétricas exploram a energia potencial da água em movimento, utilizando barragens para criar reservatórios e estabelecer diferenças de altura. A água liberada dessa altura é direcionada às turbinas, acionando geradores elétricos e convertendo energia cinética em eletricidade, sendo considerado um método de geração limpo e renovável, pois não envolve a queima de combustíveis fósseis.

No entanto, para os pesquisadores e seus colaboradores Albuquerque Filho et al., (2010), Molle et al., (2012) e Pereira et al., (2023) as usinas hidrelétricas, apesar de sua importância na matriz elétrica global e brasileira, podem acarretar impactos ambientais, como mudanças no regime hidrológico, deslocamento de comunidades e problemas nos reservatórios, como sedimentação e impactos na fauna e flora. A decomposição orgânica nos reservatórios também pode liberar gases de efeito estufa. Ainda, de acordo com Zhouri e Oliveira (2007) os impactos socioeconômicos, além do deslocamento inicial, incluem mudanças nos meios de subsistência e práticas culturais locais.

Por outro lado, a geração de energia eólica apresenta-se como uma alternativa promissora na busca por fontes limpas e renováveis. Nesse método, a energia cinética do vento é convertida em eletricidade por aerogeradores. Quando o vento atinge as pás, transfere sua energia cinética para um gerador, produzindo eletricidade. Parques eólicos otimizam eficiência na produção. Além de diversificar a matriz energética, a geração eólica reduz emissões de gases estufa, promovendo um sistema sustentável (Freitas 2023; Kohler et al. 2021; Martins et al. 2008).

O processo eólico, apesar de ser fonte limpa e renovável, não está isento de gerar impactos ambientais, como risco de colisões para aves e morcegos, ocupação de áreas agrícolas, preocupações com ruído e paisagem alterada. Produção e descarte de turbinas são desafios, e turbinas *offshore* impactam ecossistemas marinhos. Muitos impactos podem ser mitigados com práticas adequadas e inovações na indústria eólica. Busca por soluções sustentáveis é crucial (Carvalho et al. 2023; Mahela et al. 2020; Vital et al. 2023).

Reexaminando a matriz elétrica brasileira (Figura 1b), destaca-se a predominância da energia hidráulica, representando 61,9% do total disponível. Apesar de sua importância, os impactos ambientais e a construção complexa geram desafios, levando a tarifas elevadas, especialmente em períodos secos. Na geração eólica, são necessários altos investimentos e os impactos ambientais, como na fauna e no uso de terras, também são relevantes. Ao reavaliar esses indicadores, reforçamos o foco na geração sustentável de energia via fotovoltaica, alternativa para a solução energética global, aproveitando a alta irradiação solar do Brasil, principalmente em sistemas residenciais (Bühler et al. 2015; EPE 2023; Güntzel 2018; MME 2023; Molle et al. 2012).



Geração de energia solar – fotovoltaica

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE 2019), o Brasil ainda não apresenta os índices de radiação mais elevados do globo; entretanto, por ser um país tropical, retém um potencial médio de 2000 kWh/m²/ano, o que já é suficiente para uma boa utilização de tal matriz energética. Ainda de acordo com estudos levantados na segunda edição do Atlas brasileiro de energia solar do próprio INPE, mesmo na região sul, onde se tem os menores índices de radiação solar, há uma certa vantagem do uso de sistemas fotovoltaicos (Barbosa Filho et al. 2015; ECOM 2020).

A energia solar fotovoltaica é gerada por sistemas que convertem luz solar diretamente em eletricidade. Células fotovoltaicas, geralmente compostas de silício, absorvem a luz solar e a transformam em corrente elétrica. Agrupadas em módulos ou painéis solares, formam a base dos sistemas solares. A corrente contínua (CC) gerada é convertida em corrente alternada (CA) por um inversor. A eletricidade pode ser usada localmente, integrada à rede elétrica ou armazenada em baterias. Essa geração elétrica é considerada limpa e renovável, contribuindo para a sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa (Alves 2019; Kuramoto e Appoloni 2002; Soares 2018; Zhou e Oliveira 2007).

O potencial solar brasileiro, associado ao risco de escassez de energia elétrica devido a usinas hidrelétricas e termoeletricas, impulsiona a busca por alternativas renováveis. A geração fotovoltaica se destaca ao explorar uma fonte renovável com impactos ambientais menores que formas convencionais. É importante reconhecer e mitigar os impactos ambientais de usinas solares, pois sistemas fotovoltaicos, centralizados ou descentralizados, crescem globalmente, impulsionados por demandas e restrições de recursos, agravadas pela degradação ambiental (ANEEL 2022; Barbosa Filho et al. 2015; Lima et al. 2022).

Usinas fotovoltaicas podem ser implantadas em dois sistemas, ambos utilizando painéis solares: *On-grid*, conectadas à rede de distribuição (geração centralizada), e *Off-grid*, não conectadas à rede (geração descentralizada). Ambos contribuem para a transição a fontes de energia mais limpas, reduzindo emissões de gases e a dependência de combustíveis fósseis. Os benefícios incluem a diminuição da pegada de carbono, preservação de recursos e mitigação de impactos climáticos. No entanto, a implantação de usinas fotovoltaicas apresenta desafios, como consumo de recursos na produção de painéis, necessidade de gestão eficaz de resíduos e, em alguns casos, modificação do uso do solo. Essencial abordar esses aspectos para garantir uma transição sustentável (Oliveira 2023; Boggian 2023; Soares 2018).

Nos sistemas *off-grid*, o excedente de produção é armazenado em baterias, desempenhando um papel crucial em locais remotos. Contudo, para garantir a eficácia e confiabilidade, desafios como dimensionamento, gestão eficiente do armazenamento (baterias) e manutenção são essenciais. O custo inicial pode ser elevado, a produção e o descarte de baterias podem ter impactos ambientais significativos, destacando a necessidade de abordagens sustentáveis. A capacidade de armazenamento influencia diretamente a autonomia do sistema (Subramaniam et al. 2020; Narasimhulu et al. 2023).

Sistemas fotovoltaicos *on-grid* integram-se à rede elétrica convencional, permitindo a injeção direta da eletricidade gerada. Essa integração abastece o consumo local e devolve excedentes, gerando créditos. Contudo, há desafios e impactos ambientais, especialmente na qualidade da energia injetada. Variações na geração solar devido às condições climáticas podem causar instabilidades na voltagem e frequência, afetando o fornecimento elétrico e potencialmente danificando equipamentos sensíveis (Benavente et al. 2018; Dantas e Pompermayer 2018; Freitas 2023; Mahela et al. 2020; Narasimhulu et al. 2023; Urbanetz junior 2010).

Retornando à análise das Figuras 1a e 1b, notamos que a matriz elétrica global, majoritariamente não renovável, contrasta com a realidade brasileira, destacando-se por uma transição bem-sucedida para fontes mais limpas e sustentáveis, com ênfase na hidrelétrica. A ascensão da geração fotovoltaica, aproveitando o vasto potencial solar nacional, surge como promissora. Contudo, desafios ambientais, tecnológicos e regulatórios



demandam abordagem cuidadosa para uma transição eficiente e equilibrada. Soluções inovadoras, investimento em pesquisas de ponta, desenvolvimento e cooperação internacional são cruciais (EPE 2023, 2024, 2022; MME 2023, 2022; PEB 2024; FMI 2024).

Materiais e métodos

Este estudo foi conduzido aproveitando os recursos avançados dos laboratórios de informática da Universidade Evangélica de Goiás, especificamente utilizando a plataforma Scopus da Elsevier. Esta plataforma foi escolhida devido à sua reconhecida excelência no acesso a uma ampla gama de artigos científicos e revisões acadêmicas, essencial para a profundidade de análise requerida neste estudo.

Seleção de Artigos

Iniciamos a revisão sistemática focada nos propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas e suas implicações ambientais e de desempenho. A pesquisa foi realizada no Scopus, utilizando uma combinação de termos chave como "*solar energy*", "*photovoltaic*", "*performance*", "*power quality*" e "*environmental impact*". Limitamos nossa busca a artigos publicados nos últimos cinco anos, selecionando aqueles com um número significativo de citações para assegurar a relevância e a atualidade dos dados analisados.

Crítérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão foram estrategicamente definidos para selecionar estudos que abordassem especificamente os propósitos das usinas fotovoltaicas, assim como os benefícios e impactos ambientais associados.

Foram excluídos:

- Artigos publicados entre 2018 e 2022 com menos de 50 citações. Entretanto, para os artigos publicados em 2023, não foi aplicado o critério de quantidade de citações.
- Publicações sem acesso aberto.
- Artigos de revisão e artigos científicos publicados nas línguas diferentes da portuguesa, inglesa, chinesa e alemã.
- Artigos não publicados nas áreas de engenharia, energia, ciências dos materiais e ciências ambientais.

Processo de Triagem e Seleção

O processo de triagem e seleção iniciou com uma análise rigorosa dos títulos, palavras-chave e resumos. Isso foi seguido por uma revisão detalhada dos textos completos para garantir a conformidade com os critérios de inclusão. Dois revisores independentes executaram a seleção final, resolvendo divergências através de consenso para garantir objetividade e precisão na seleção dos artigos.

Análise de Dados

Adotamos uma abordagem qualitativa para a análise de dados, sistematizando informações relativas aos propósitos, benefícios e impactos das usinas fotovoltaicas. Esta análise envolveu uma síntese cuidadosa dos resultados, permitindo a identificação de padrões e tendências emergentes na literatura recente.



Avaliação da Qualidade dos Estudos

Para assegurar uma avaliação criteriosa da qualidade dos artigos científicos, foi empregada uma matriz de relevância com base nas citações atribuídas a cada trabalho. Nesse sentido, foram considerados tanto o fator de impacto quanto o número de citações de cada artigo selecionado.

Ferramentas e Softwares

Utilizamos o *software* - Mendeley de gerenciamento de referências bibliográficas para organizar e gerenciar as referências coletadas, enquanto a análise dos dados foi facilitada pelo uso de planilhas eletrônicas, permitindo uma organização eficiente e uma análise detalhada dos dados coletados.

Resultados e Discussões

Nesta seção, apresentamos os resultados e a discussão deste trabalho de revisão sistemática e cienciometria sobre os propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com ênfase nos impactos ambientais e na performance de geração.

Seleção dos trabalhos

Inicialmente, foram pré-selecionados 3.960 artigos científicos. Ao aplicar filtros na plataforma Scopus, apenas 31 artigos foram selecionados. Excluímos publicações entre 2018 e 2022 com menos de 50 citações; para 2023, incluímos estudos sem esse critério para capturar pesquisas recentes. Também excluímos publicações sem acesso aberto, artigos de revisão e aqueles escritos em outras línguas que não fossem inglês, português, chinês ou alemão. Restringimos a seleção a artigos das áreas de engenharia, energia, ciências dos materiais e ciências ambientais para garantir homogeneidade. Essa seleção rigorosa resultou em apenas 31 artigos, representando menos de 1% do total inicial, destacando a robustez do processo de escolha e a exclusão de pesquisas não correlacionadas, assegurando consistência e relevância.

Para entender os propósitos das Usinas Fotovoltaicas - UF, apresentamos a Tabela 1 com os indicadores detalhados. Os indicadores foram categorizados em Consequências Ambientais (impactos e benefícios) e Performance de Geração (governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional).

Tabela 1 - Estratificação da seleção dos estudos científicos relacionados à implantação das Usinas Fotovoltaicas

Indicadores analisados	Total	Porcentagem	Subdivisão dos indicadores	Períodos estudados				
				2023	2022	2021	2020	2019
Consequências Ambientais	6	19,4%	Impactos ambientais	4				
			Benefícios ambientais	1		1		
Performance de Geração	24	77,4%	Governança	2				
			Produtividade	6			1	1
			Uso de algoritmos	4				1
			Otimização operacional	4		1	1	2
Não estava(m) diretamente correlacionado(s)	1	3,2%	***				2	
Somatório	31			21	0	2	4	4

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)



Consequências e benefícios ambientais para o desenvolvimento das UFs

A análise dos indicadores mostra que apenas 6 artigos focaram nas consequências ambientais, representando 19,4% do total. Dos 6 trabalhos, 5 foram publicados em 2023, sendo 4 relacionados aos impactos ambientais e 1 aos benefícios ambientais. Em 2021, foi publicado apenas um trabalho, que avaliou os benefícios ambientais das construções e implementações das usinas fotovoltaicas.

Dos trabalhos avaliados, destacam-se os estudos de Razmjoo et al. (2021) publicado na Revista *Renewable Energy* (Reino Unido). Este trabalho aborda sistemas híbridos sustentáveis, incluindo energia solar fotovoltaica, para geração elétrica limpa e sustentável no Irã, com ênfase na redução de emissões de CO₂. O estudo enfatiza a importância de políticas e investimentos em tecnologias renováveis para impulsionar a energia sustentável. No exame dos indicadores relacionados aos impactos ambientais, destacamos a pesquisa de Abid et al. (2023) publicada pela Revista *Ecological Engineering and Environmental Technology* (Polônia). Neste trabalho, os pesquisadores apontam que as implantações das UFs trazem diversos benefícios, entretanto, ressaltam de maneira crítica os impactos ambientais, destacando não apenas o alto custo de instalação, mas também a baixa eficiência de operação das UFs. A publicação, apesar de recente, já teve 5 citações, indicando a relevância e o impacto do estudo na comunidade científica (Rabaia et al. 2021).

Continuando a análise da Tabela 1, é fundamental destacar que a performance de geração tem sido o principal foco dos pesquisadores nas implantações das UFs. Nesse contexto, os indicadores de governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional destacam-se como elementos essenciais para assegurar a eficiência dos sistemas de geração e/ou conversão de energia elétrica pelo processo fotovoltaico. Juntos, esses indicadores correspondem a 74,2% dos interesses dos pesquisadores.

Performance de Geração das UFs

Reforçando o foco predominante na eficiência da performance de geração, merecem destaque estudos significativos como os de Benavente et al. (2018) e Subramaniam et al. (2020) publicados na Revista *Energy* (Reino Unido e Suíça), com 55 e 50 citações, respectivamente. Esses estudos abordaram testes com baterias visando melhorias na vida útil e maior disponibilidade de carga para aumentar a produtividade, incluindo modos operacionais do sistema.

Quanto às contribuições científicas mais relevantes relacionadas ao indicador de produtividade, destacamos Talapur et al. (2018) e Dehghani Tafti et al. (2019). Talapur et al. (2018), com 127 citações, propuseram técnicas de controle modificadas para compensar demandas de potência reativa, correntes harmônicas e desequilíbrios de carga, assegurando uma operação aprimorada. Dehghani Tafti et al. (2019), com 75 citações, testaram um modelo de algoritmo de Rastreamento de Ponto de Potência Flexível (FPPF), apresentando resposta rápida às mudanças ambientais e baixas oscilações de potência, contribuindo para aprimorar a performance das UFs.

Sobre o emprego de algoritmos e simulações computacionais, ao analisarmos os artigos selecionados, notamos considerável utilização dessas ferramentas. Essa abordagem foi amplamente adotada pelos pesquisadores, buscando melhorar tanto o desempenho das usinas quanto alcançar resultados mais eficazes em termos de benefícios ambientais e redução dos impactos causados pelas instalações das UFs.

Falta de correção com os estudos

Dos 31 artigos analisados, identificamos que um deles não guardava uma correlação direta com o tema desta análise sistemática e cienciométrica. A pesquisa de Mahela et al. (2020) aborda questões técnicas relacionadas à injeção de energia elétrica excedente proveniente de fonte de geração eólica. Apesar de tangenciar o tema de geração de energia, optamos por excluir esse estudo específico de nossa análise mais aprofundada,



reforçando a influência desses países tanto em termos de produção científica quanto em poder econômico no cenário das UFs.

Identificamos também que a língua predominante nos originais é o inglês, destacando-se, em números de publicações relevantes pelos números de citações: Reino Unido (189), Alemanha (137) e Estados Unidos (127). Além disso, constatamos a participação diversificada de pesquisadores de várias nações nesse contexto. Essa abordagem multilateral contribui significativamente para a abrangência e representatividade das pesquisas, enriquecendo a discussão sobre os propósitos para o desenvolvimento das UFs. A diversidade de países dos pesquisadores oferece uma perspectiva global e enriquecedora para o entendimento desses propósitos, promovendo um diálogo mais inclusivo e aberto no campo científico.

A classificação das três principais revistas científicas foi realizada com o intuito de ressaltar a influência e relevância relativa dessas publicações. Consideramos tanto o fator de impacto, que representa a quantidade de citações recebidas pelos artigos publicados, quanto o índice de citação, conhecido como *CiteScore*, que representa a média anual de citações da publicação. As três revistas, juntamente com seus respectivos valores de fator de impacto e índice de citação, são: *Renewable Energy* (EUA) com fator de impacto de 16.1 e *CiteScore* de 8.7, *Environmental Chemistry Letters* com fator de impacto de 15.7 e *CiteScore* de 14.04, e *Applied Energy* com fator de impacto de 11.2 e *CiteScore* de 21.1. Essa abordagem visa proporcionar uma visão clara da importância dessas revistas no cenário científico.

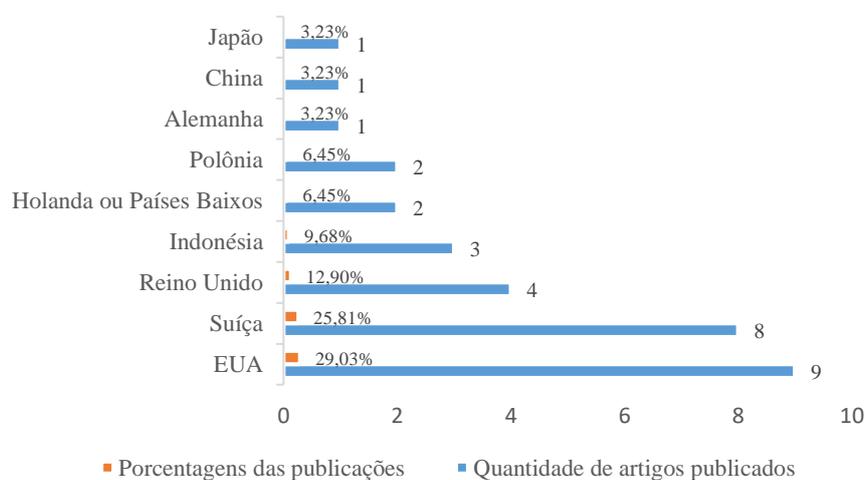


Figura 3 – Levantamento e estratificação das publicações por país de origem das revistas científicas. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Lacuna de publicações no ano de 2022

No indicador de publicações acadêmicas de 2022, notamos a ausência de trabalhos específicos sobre os propósitos globais para o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas, com foco nas consequências ambientais e na performance de geração. Embora não possamos afirmar com certeza os motivos dessa lacuna, é plausível considerar que diversos fatores, incluindo a situação global devido à pandemia de Covid-19, possam ter influenciado a produção e divulgação de pesquisas científicas nesse período. Destacamos que muitos dos artigos analisados, embora tenham sido aceitos pelas revistas em 2022, só foram efetivamente publicados em 2023.



Conclusão

A partir dos estudos desta revisão sistemática e cienciométrica sobre usinas fotovoltaicas, na abordagem introdutória, destacamos a relevância da matriz elétrica brasileira na transição para fontes mais limpas, com ênfase na hidrelétrica. Contrariamente à matriz elétrica global, predominantemente não renovável, evidencia-se uma transição bem-sucedida no Brasil. A ascensão da geração fotovoltaica, aproveitando o potencial solar, apresenta-se como uma perspectiva promissora. Entretanto, desafios ambientais, tecnológicos e regulatórios exigem atenção para assegurar a eficiência. O estudo ressalta a importância de soluções inovadoras e cooperação internacional para um futuro sustentável na geração de energia elétrica.

No item de Resultados e Discussões, observamos uma ênfase predominante na pesquisa voltada para a otimização de desempenho em detrimento dos benefícios ambientais, ressaltando a necessidade de maior atenção a essa dimensão crucial, dada a escassez de estudos específicos sobre impactos ambientais. Apresentamos nossas conclusões sobre essa afirmativa:

- Indicadores de governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional representaram 74,2% das publicações analisadas.
- Os estudos focaram em melhorias na vida útil e eficiência operacional, evidenciando um foco expressivo na eficiência da geração.
- As palavras-chave evidenciaram ênfase na *performance* das usinas, indicando priorização nesse aspecto nos estudos.
- A representação geográfica destacou Estados Unidos, Suíça e Reino Unido como líderes na pesquisa sobre o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas.
- As revistas destacaram trabalhos com alto fator de impacto e números de citações em quesitos ambientais, como *Renewable Energy* (Reino Unido) e *Environmental Chemistry Letters* (Alemanha), bem como em performance de geração.

Logo, essa revisão oferece insights valiosos para pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas, proporcionando uma visão aprofundada dos atuais enfoques na pesquisa sobre usinas fotovoltaicas. Apesar do foco na otimização da performance, destaca-se a importância de equilibrar a eficiência operacional com considerações ambientais para o avanço sustentável da energia fotovoltaica.

Agradecimentos

À Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente – PPGSTMA;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG, pela concessão de bolsa de formação de Doutorado.

Referências Bibliográficas

Abid MK, Kumar MV, Raj VR, Dhas MDK. 2023. Environmental impacts of the solar photovoltaic systems in the context of globalization. *Ecological Engineering and Environmental Technology* 24 (2): 231–240. <https://doi.org/10.12912/27197050/157168>.



Albuquerque Filho JL, Saad AR, de Alvarenga MC. 2010. Considerações acerca dos impactos ambientais em aquíferos livres e suas consequências. *Geociências* 29 (3): 355–367. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5390/4228>.

Alves, MOL. 2019. Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – João Monlevade/MG. https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). 2022. Aneel apresenta no Senado Federal ações para superar escassez hídrica e reduzir impactos na tarifa de energia. Brasília. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-apresenta-no-senado-federal-acoes-para-superar-escassez-hidrica-e-reduzir-impactos-na-tarifa-de-energia>.

Arimoto A. 2011. Reaction to Academic Ranking: Knowledge Production, Faculty Productivity from an International Perspective. In *University Rankings*, 229–58. Hiroshima, Japan: Springer Science+Business. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1116-7_12.

Barbosa Filho WP, Ferreira WR, de Azevedo ACS, Costa AC, Pinheiro RB. 2015. Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 4: 628–642. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015628-642>.

Benavente F, Lundblad A, Campana PE, Zhang Y, Cabrera S, Lindbergh G. 2018. Photovoltaic / battery system sizing for rural electrification in Bolivia: Considering the suppressed demand effect. *Applied Energy* 235: 519–28. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.084>.

Bermann, C. 2012. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: A autocracia energética como paradigma. *Novos Cadernos NAEA* 15 (1): 5–23. <https://doi.org/10.5801/ncn.v15i1.895>.

Boggian LCC. 2023. Governança e meio ambiente: energia fotovoltaica e a contribuição para a Agenda 2030 por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na UniEVANGÉLICA. Tese de Doutorado. Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Anápolis/GO. <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/21462/1/3>.

Bozio DM. 2018. Perspectivas das energias renováveis e não renováveis nas matrizes energéticas e elétricas. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Medianeira/PR. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22667>.

Bühler AJ, Rampinelli GA, Gasparin FP, Krenzinger A. 2015. Energia solar fotovoltaica e o setor elétrico brasileiro: situação atual e perspectivas. *ASADES - Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 19 (0): 1–23.

Carvalho LTF, Andrade LP, da Silva LR. 2023. Revisão sistemática: impactos ambientais e climáticos da implantação de usinas eólicas. *Diversitas Journal* 8 (4): 2846–56. <https://doi.org/10.48017/dj.v8i4.2495>.

Dantas SG, Pompermayer FM. 2018. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf.



Dehghani Tafti D, Sangwongwanich A, Yang Y, Pou J, Konstantinou G, Blaabjerg F. 2019. An adaptive control scheme for flexible power point tracking in photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Power Electronics* 34 (6): 5451–63. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2869172>.

Dutra e Silva S, Pereira NS, Souza EF, Bernardes CMR, Boggian LCC, Ventura ACR, Oliveira LVF, Oliveira CS, Silva CHM, Oliveira-Silva I. 2021. Métricas de producción científica y calificación de revistas como objetivos de gestión universitaria. In *Nuevas experiencias en gobernanza universitaria*, edited by Francisco Ganga Contreras, Eduardo González Gil, Olga Lucía Ostos Ortiz, and Mayra Alejandra Hernández Merchán, 85–106. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

ECOM. 2020. Energia solar: saiba escolher o melhor lugar para instalação. *Energia e Inovação*. <https://ecomenergia.com.br/blog/energia-solar-saiba-escolher-o-melhor-lugar-para-instalacao/>.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2022. Informativo técnico nº 011/2022: Apresentação da metodologia e dos fatores de emissão utilizados para as estimativas de emissão de GEE nos planos de energia, no BEN e demais produtos da EPE. Brasília. https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo%20Tecnico_11-2022_fatores%20de%20emiss%C3%A3oSMA.pdf

———. 2023. Matriz energética e elétrica. Brasília. <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

———. 2024. As principais publicações da EPE. Brasília. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>.

FMI (Fundo Monetário Internacional). 2024. World economic outlook growth projections. Washington, DC: Fundo Monetário Internacional. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO>.

Freitas MVPH. 2023. Análise operativa dos efeitos de potência reativa em um parque eólico conectado a uma subestação 34,5/69 kV. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN.

Galvão MCB, Ricarte ILM. 2019. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da Informação* 6 (1): 57–73. <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>.

Güntzel IL. 2018. Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, instalados em posto de fotovoltaicos on-grid e off-grid. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Pato Branco/PR. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14937>.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2019. Novo sistema facilita consulta sobre potencial de energia solar. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5087.

Johnson MP. 2021. Uma Geração Sem Terra: Injustiça Ambiental Em Comunidades Indígenas Deslocadas Por Construções de Hidrelétricas No Brasil, Desde Os Anos 1980. *HALAC – Historia Ambiental, Latinoamericana y Caribeña* 11 (3): 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.32991/2237-2717.2021v11i3.p209-233>.



Kohler TEGF, Moreira LG, Brandão SM, Rodrigues RFN, Dias MJ. 2021. Estudo do potencial de geração de energia eólica no estado de Goiás. *Revista Processos Químicos* 14 (28): 49–60. <https://doi.org/10.19142/rpq.v14i28.601>.

Kugley S, Wade A, Thomas J, Mahood Q, Jørgensen AMK, Hammerstrøm K, Sathe N. 2017. *Searching for Studies: A Guide to Information Retrieval for Campbell Systematic Reviews*. Edited by Ariel Aloe. Campbell Methodological Guidance Series 13. Iowa, USA: The Campbell Collaboration. <https://doi.org/10.4073/cmg.2016.1>.

Kuramoto RYR, Appoloni CR. 2002. Uma breve história da política nuclear brasileira. *Departamento de Física UEL* 19 (3): 379–92.

Lima PTD, Neto MM, Abrahão R. 2022. Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15 (3): 1260–73. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1260-1273>.

De Luna Pámanes, A., J. A. Ayala Urbina, F. J. Cantú-Ortiz e H. G. Ceballos Cancino. 2020. The World University Rankings Model Validation and a Top 50 Universities Predictive Model. 2020 3rd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCAIS48893.2020.9096841>.

Macias-Chapula CA. 1998. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da Informação* 27 (2): 134–140. <https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200006>.

Mahela OP, Khan B, Alhelou HH, Tanwar S. 2020. Assessment of power quality in the utility grid integrated with wind energy generation. *IET Power Electronics* 13 (13): 2917–25. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2019.1351>.

Martins FR, Guarnieri RA, Pereira EB. 2008. O aproveitamento da energia eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 30 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172008000100005>.

Meho LI. 2020. Highly prestigious international academic awards and their impact on university rankings. *Quantitative Science Studies* 1(2): 824–848. https://doi.org/10.1162/qss_a_00045.

Ministério de Minas e Energia (MME). 2022. Relatório síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – ano base 2021 (BEN 2021). Brasília. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>

———. 2023. Relatório síntese do Balanço Energético Nacional 2023 – ano base 2022 (BEN 2022). Brasília. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf

Molle F, Foran T, Käkönen M. 2012. *Contested Waterscapes in the Mekong Region - Hydropower, Livelihoods and Governance*. Vol. 14. London: Earthscan, Chiang Mai University, Thailand.

Moran MJN, Howard S, Boettner DD, Bailey MB. 2018. *Princípios de termodinâmica para engenharia*. 8a ed. São Paulo/SP: Grupo Gen-LTC.



Narasimhulu N, Awasthy M, de Prado RP, Divakarachari PB, Himabindu N. 2023. Analysis and impacts of grid integrated photo-voltaic and electric vehicle on power quality issues. *Energies* 16 (2): 1–18. <https://doi.org/10.3390/en16020714>.

Oliveira JVG. 2023. O consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Ouro Preto, campus Morro do Cruzeiro, e o impacto da geração fotovoltaica. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – Ouro Preto/MG.

PEB (Portal Energia Brasil). 2024. Quais são os incentivos governamentais para o uso de energia solar no Brasil. <https://portalenergiabrasil.com.br/energia-solar-7-icentivos-no-brasil/>.

Silva CNP. 2018. Estado e Desenvolvimento Sustentável No Brasil: Água, Biomassa e Petróleo (1992 - 2012). *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de La Solcha* 7 (2): 130–42. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2017v7i2.p130-142>.

Pereira ES, Santos MMS, Targa MS. 2023. Impactos Ambientais da Usina Hidrelétrica de Estreito, MA – Amazônia – Brasil: Uma Revisão Integrativa. *Revista Técnicas Ciências Ambientais* 1 (7): 1–12.

Rabaia MKH, Abdelkareem MA, Sayed ET, Elsaid K, Chae KJ, Wilberforce T, Olabi AG. 2021. Environmental impacts of solar energy systems: a review. *Science of the Total Environment* 754: 19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>.

Razmjoo A, Kaigutha LG, Rad MAV, Marzband M, Davarpanah A, Denai M. 2021. A technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce CO₂ emissions in a high potential area. *Renewable Energy* 164: 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.042>.

Soares M. 2018. O uso de fontes de energia elétrica fotovoltaica pela população de Ji-Paraná, está havendo viabilidade econômica e quais os impactos na região? *Estudos em Ciências* 1: 18.

Subramaniam U, Vavilapalli S, Padmanaban S, Blaabjerg F, Holm-Nielsen JB, Almakhles D. 2020. A hybrid PV-battery system for on-grid and off-grid applications-controller-in-loop simulation validation. *Energies* 13 (3): 1–19. <https://doi.org/10.3390/en13030755>.

Talapur GG, Suryawanshi HM, Xu L, Shitole AB. 2018. A reliable microgrid with seamless transition between grid connected and islanded mode for residential community with enhanced power quality. *IEEE Transactions on Industry Applications* 54 (5): 5246–55. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2808482>.

UNESP (Universidade Estadual Paulista). 2012. Modelos de Referências e Citações. Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação, Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. Botucatu/SP: Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu. <https://www.fca.unesp.br/Home/PosGraduacao/folheto.pdf>.

Urbanetz Junior J. 2010. *Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis/SC.



Vital LVM, da Rocha EP, Varella FKOM. 2023. Estudo dos impactos da implantação de usinas eólicas no município de Jandaíra/RN. *Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica* 5 (2): 75–85. <https://doi.org/10.21708/issn27635325.v5n2.a12346.2023>.

WordClouds. 2024. Nuvem de palavras. 2024. <https://www.wordclouds.com/>.

Zhourri A, Oliveira. 2007. Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. *Ambiente & Sociedade* 10 (2): 119–135. <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2007000200008>.