

## **ENERGIA RENOVÁVEL NÃO POLUI? ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE REDES PARA A AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE PARQUES EÓLICOS DE CIDADES BAIANAS**

### **DOES RENEWABLE ENERGY POLLUTE? A NETWORK ANALYSIS STUDY ON THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WIND FARMS IN BAHIAN CITIES**

### **¿LA ENERGÍA RENOVABLE NO CONTAMINA? ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE REDES PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE PARQUES EÓLICOS EN CIUDADES DE BAHIA**

*Recebido em: 01/10/2023. Aprovado em: 11/01/2024*

*Adriana Vieira dos Santos<sup>1</sup>*

*Amanda de Carvalho Santos Menezes<sup>2</sup>*

*Almir Vinicius de Souza Teixeira<sup>3</sup>*

*Elvis Castro Reis<sup>4</sup>*

*Durval de Almeida Souza<sup>5</sup>*

**RESUMO:** O uso das energias renováveis vem se tornando necessário a fim de minimizar impactos ambientais causados por fontes tradicionais de energia. Tanto a energia eólica como os impactos ambientais são considerados temas importantes de pesquisa científica, especialmente na Bahia, que se tornou líder na geração nacional. A energia eólica é considerada uma energia mais limpa no que diz respeito à emissão de gases de efeito estufa, mas também pode resultar em impactos ambientais. Este estudo propõe analisar e

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Difusão do Conhecimento (PPGDC). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus de Lauro de Freitas. Membro do Grupo de Estudo e Pesquisa Avançada em Energia (GEPAE). Email: [adriana Vieira@ifba.edu.br](mailto:adriana Vieira@ifba.edu.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Membro do Grupo de Estudo e Pesquisa Avançada em Energia (GEPAE). Email: [amcarvalhosm@gmail.com](mailto:amcarvalhosm@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia. Membro do Grupo de Estudo e Pesquisa Avançada em Energia (GEPAE). Email: [a.vinicius.12@gmail.com](mailto:a.vinicius.12@gmail.com)

<sup>4</sup> 4Secretaria de Educação do Município de Sento Sé, Bahia. Membro do Grupo de Estudo e Pesquisa Avançada em Energia (GEPAE). Email: [elvis.castroreis83@gmail.com](mailto:elvis.castroreis83@gmail.com)

<sup>5</sup> 5Doutor em Energias Renováveis e Eficiência Energética. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus de Lauro de Freitas. Líder do Grupo de Estudo e Pesquisa Avançada em Energia (GEPAE). Email: [durval@ifba.edu.br](mailto:durval@ifba.edu.br)

demonstrar os impactos ambientais ocasionados por usinas de energia eólica instaladas em cidades baianas. A fonte de coleta de dados foi a pesquisa documental, caracterizando-se com aspecto qualitativo. Adotamos a análise de redes como metodologia para investigação de 66 impactos ambientais, 45 negativos e 21 positivos, elencados em relatórios de impactos ambientais de dois empreendimentos eólicos. Impactos negativos, como a alteração das características físicas do solo e dos recursos hídricos, danos à fauna e à flora, incômodos à população local, são exemplos que revelam que energia renovável "polui". Este trabalho ajuda a compreender melhor os impactos ambientais da utilização da energia eólica nos municípios de Sento Sé e Umburanas, na Bahia.

**Palavras-chave:** Energia eólica. Análise de redes. Avaliação de Impactos Ambientais. Cidades Baianas.

**ABSTRACT:** The use of renewable energy has become necessary to minimize the environmental impacts caused by traditional energy sources. Both wind energy and environmental impacts are considered important topics of scientific research, especially in Bahia, which has become a national leader in generation. Wind energy is regarded as a cleaner energy source in terms of greenhouse gas emissions but can also result in environmental impacts. This study aims to analyze and demonstrate the environmental impacts caused by wind power plants installed in Bahian cities. The data collection source was documentary research, characterized by a qualitative aspect. We adopted network analysis as a methodology to investigate 66 environmental impacts, 45 negative and 21 positive, listed in environmental impact reports of two wind power projects. Negative impacts, such as the alteration of the physical characteristics of the soil and water resources, damage to fauna and flora, and disturbances to the local population, are examples that reveal that renewable energy can "pollute." This work helps to better understand the environmental impacts of wind energy utilization in the municipalities of Sento Sé and Umburanas, Bahia.

**Keywords:** Wind energy. Network analysis. Environmental Impact Assessment. Bahia Cities.

**RESUMEM:** El uso de las energías renovables se ha vuelto necesario para minimizar los impactos ambientales causados por las fuentes tradicionales de energía. Tanto la energía eólica como los impactos ambientales se consideran temas importantes de investigación científica, especialmente en Bahía, que se ha convertido en líder nacional en generación. La energía eólica se considera una fuente de energía más limpia en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero, pero también puede generar impactos ambientales. Este estudio propone analizar y demostrar los impactos ambientales ocasionados por las plantas de energía eólica instaladas en ciudades de Bahía. La fuente de recolección de datos fue la investigación documental, caracterizándose por un enfoque cualitativo. Adoptamos el análisis de redes como metodología para investigar 66 impactos ambientales, 45 negativos y 21 positivos, enumerados en informes de impactos ambientales de dos proyectos eólicos. Impactos negativos, como la alteración de las características físicas del suelo y de los recursos hídricos, daños a la fauna y flora, molestias a la población local, son ejemplos que revelan que la energía renovable "contamina". Este trabajo ayuda a comprender mejor los impactos ambientales del uso de la energía eólica en los municipios de Sento Sé y Umburanas, en Bahía.

**Palabras clave:** Energía eólica. Análisis de red. Evaluación de impacto ambiental. Ciudades de Bahía.

## 1 INTRODUÇÃO

O tema da energia renovável tem ganhado destaque globalmente, especialmente diante da urgência de descarbonizar a matriz energética e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. No contexto das energias renováveis, a energia eólica vem se destacando no Brasil, especialmente no estado da Bahia. No Estado brasileiro, a energia elétrica é predominantemente proveniente de hidrelétricas e o país já enfrenta discussões consideráveis sobre os impactos ambientais associados à construção e operação dessas usinas. Tais discussões variam desde a desapropriação de comunidades até os efeitos sobre a flora e a fauna da região de influência do empreendimento (Clauberg *et al.*, 2020).

O Estado da Bahia tem se tornado um potencial produtor de energia eólica devido às características geográficas que propiciam a operação destes empreendimentos por oferecerem boas condições de velocidade dos ventos, em particular, no norte do estado (Barrero *et al.*, 2021). Mesmo com vantagens em relação à minimização de impactos ambientais, ainda sim, a produção de energia via aerogeradores eólicos causa impactos. A implementação dos empreendimentos geradores de energia renováveis é feita considerando algumas características específicas da região, como irradiação solar e velocidade dos ventos. Por conta dessas características interessantes, tem-se um grande potencial de instalação no estado da Bahia.

Wang e Wang (2015) destacaram diversos impactos ambientais, incluindo poluição sonora, morte de pássaros e morcegos, emissões de gases de efeito estufa, entre outros. O surgimento de novas fontes de energia renováveis advém da necessidade de minimizar os impactos causados pelo uso de fontes tradicionais de energia, que afetam tanto o aspecto social quanto o ambiental. Estes impactos vão desde a realocação da população até a emissão de gases de efeito estufa e a extinção de espécies em ecossistemas naturais. No entanto, é importante considerar que, como toda atividade humana, a implementação de empreendimentos que geram energias renováveis também resulta em impactos (Dai *et al.*, 2015).

Como emprego de técnica para esta análise, a visualização das informações através das redes se mostra como um caminho interessante para a transformação de dados brutos em conhecimento, empregando elementos visuais que facilitem a interpretação e a comparação de informações. Segundo Štefániková e Masárová (2014), a informação é obtida depois que os dados são processados e com valor agregado e, portanto, tem o poder de transmitir uma mensagem. A informação se transforma em inteligência após filtrada, verificada e analisada. Indicadores de impactos ambientais associados às energias renováveis, a exemplo da energia eólica, podem auxiliar na tomada de decisão e auxiliam na compreensão de conceitos e fenômenos relacionados a estes temas.

Nesse sentido, a avaliação e a correlação entre os impactos ambientais causados pela produção de energia por aerogeradores devem ser consideradas e debatidas devido à implementação destes. Frente às problemáticas apresentadas, o presente trabalho propõe discutir os impactos ambientais causados pelo processo de produção de energia eólica nos municípios de Sento Sé e Umburanas, na Bahia, através da construção de redes de relacionamento entre os impactos ambientais e as fases de implementação de uma usina eólica. Para tal, foram utilizados os Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA's) de duas empresas responsáveis pela operação de empreendimentos de energia eólica nos municípios. A partir da catalogação dos dados necessários presentes nos RIMA's foram construídas as redes para a discussão destes impactos.

### **1.1 Cenário das Energias Renováveis no Brasil e na Bahia**

Em setembro de 2015 foi adotada por 193 países, incluindo o Brasil, uma Agenda para o Desenvolvimento Sustentável que conta com 17 objetivos e 169 metas estabelecidas para a melhoria global considerando as esferas ambiental, social e econômica com base no desenvolvimento sustentável. O sétimo objetivo desta agenda é “Energia limpa e acessível”, o qual visa assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.

No contexto mundial, o Brasil é um exemplo no que diz respeito à produção de energias renováveis, como destaca o Balanço Energético Nacional (BEN) 2021 (EPE, 2021). Atualmente a dependência da energia elétrica proveniente de usinas hidrelétricas é um problema devido ao baixo volume dos reservatórios que descaracteriza a energia

elétrica como sendo de acesso confiável e de preço acessível para os brasileiros. Apesar da energia eólica ser considerada uma alternativa que reduz a poluição ambiental e o consumo de água, por outro lado, apresenta poluição sonora, interferência visual e impactos negativos à vida selvagem (Saidur *et al.*, 2011).

O início das atividades de 17 novos parques em 2023 auxiliaram na permanência do primeiro lugar do estado da Bahia na produção energética a partir da fonte dos ventos no Brasil. Os empreendimentos que entraram em funcionamento foram Caititu 2 e 3, Carcará, Casa Nova A, Corrupião 3, Serra do Fogo, Serra do Vento e Ventos de São Januário 01, 03, 04, 05, 06, 13, 14, 20, 21 e 22 localizados em Pindaí, Casa Nova, Sento Sé e Campo Formoso.

A Bahia é uma das lideranças brasileiras na produção energética a partir da energia eólica e isso está diretamente relacionado à implementação de empreendimentos em diversas cidades baianas, a exemplo de Sento Sé e Campo Formoso. Segundo dados do Portal oficial do Estado da Bahia, há um total de 182 parques em operação comercial distribuídos por 20 municípios. A força e a velocidade dos ventos em cidades ao norte do estado baiano aliadas à estrutura das linhas de transmissão têm papel determinante para o desenvolvimento energético local, já apontado nos Atlas Eólico (2013) da Bahia.

A força e a velocidade dos ventos, como também a incidência do sol em regiões a exemplo do Sertão do São Francisco, o Sertão Produtivo, fazem com que a energia elétrica produzida a partir das fontes eólica e solar no estado, juntas, consigam atender 13,5 milhões de residências. Nos últimos nove anos, o investimento total foi de R\$ 21,8 bilhões realizado pelas empresas do setor nos empreendimentos em atividade. Sento Sé e Umburanas são municípios com empreendimentos eólicos em operação, sendo Sento Sé o município com maior quantidade de usinas eólicas operando na Bahia (Governo do Estado da Bahia, 2022), justificando a importância do estudo do tema na localidade.

## 1.2 Análise do RIMA e Aplicação das Redes

Os impactos ambientais causados pela energia eólica na região norte do estado da Bahia, especialmente nas cidades mencionadas, têm sido pouco explorados com análise sob a perspectiva das redes, especialmente devido à recente implementação de

empreendimentos eólicos nessas localidades. Vale ressaltar que essa área específica, situada entre Sento Sé e Umburanas, é de extrema importância para a conservação da Caatinga, como destacado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2007 (MMA, 2007). Nessa região, foi implementado um mosaico que inclui um Parque Nacional (~347.557 ha) e uma Área de Proteção Ambiental (~505.692 ha), conforme estipulado pelo Decreto n. 9.336 de 2018 (Brasil, 2018).

É crucial notar que o Mosaico de Unidades de Conservação do Boqueirão da Onça, nesta região, abrange quase 1.000.000 de hectares de Caatinga, mantendo-se em um estado de conservação considerado bom. No entanto, é pouco conhecido em termos de estudos de répteis e anfíbios, conforme indicado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO, 2014).

A análise de rede é uma ferramenta valiosa para visualizar e analisar dados, especialmente os relacionados à avaliação dos impactos ambientais (Martínez; Toro; León, 2018). Neste sentido, o presente artigo utiliza o *software* Gephi empregado para análise de redes, permitindo explorar interações no conjunto de dados referentes aos impactos ambientais e às fases de implantação de um parque eólico. Assim, o *software* pode ser usado para revelar padrões, tendências e valores discrepantes nos dados, tornando-o útil para estudar impactos ambientais. De maneira intuitiva, é possível visualizar os dados de um novo ângulo e obter *insights* sobre os relacionamentos e conexões dentro da rede. Os impactos ambientais podem ser analisados e interpretados com eficácia de forma visual e intuitiva.

Segundo Leung e Yang (2012), além de políticas adequadas, com uma boa compreensão do impacto ambiental, a energia eólica pode ser uma fonte de energia limpa e sustentável que pode substituir com sucesso os combustíveis fósseis. Os impactos da energia eólica no meio ambiente são importantes de serem estudados antes de qualquer empresa eólica realizar a tomada de decisão pela construção do empreendimento (Saidur *et al.*, 2011).

Apesar da abordagem de redes para avaliação qualitativa dos impactos ambientais para energias renováveis não ser uma metodologia nova, até onde os autores revisaram sobre o tema, este é o primeiro trabalho que menciona redes e Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) nas cidades baianas de Sento Sé e Umburanas.

## 2 METODOLOGIA

Esta pesquisa teve como principal objeto o RIMA elaborado por duas empresas responsáveis pela construção de parques eólicos nos municípios de Sento Sé e Umburanas no Estado da Bahia. A pesquisa caracteriza-se como bibliográfica-documental, tendo como propósito verificar relações de impactos ambientais causados pelas atividades relativas aos parques eólicos. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com auxílio do *software* gratuito StArt<sup>6</sup>, que identificou os principais impactos ambientais associados à implementação das energias renováveis.

O método desenvolvido nesta pesquisa seguiu as etapas descritas a seguir:

a) Etapa 1- Revisão Sistemática da Literatura: Como parte desta etapa do trabalho, foi seguido um protocolo de Revisão Sistemática da Literatura (PRSL) a fim de catalogar as obras concernentes aos impactos ambientais citados em artigos. O PRSL foi realizado por meio do *software* StArt. As fontes de estudo para a revisão sistemática estavam disponíveis via *web*, em bases de dados científicas ScienceDirect, Scopus, Web of Science e Google Acadêmico. Foram selecionados, também, trabalhos disponíveis em outros meios, desde que atendessem aos requisitos da Revisão Sistemática. Este processo foi realizado por meio de buscas formadas por palavras-chave. Durante o procedimento de recuperação das informações foram consideradas as *strings* encontradas preferencialmente em Títulos, Resumos e Palavras-chave de cada base de dados. Após a leitura dos resumos, e verificando-se a relevância do trabalho, através do fator de impacto e indexação, o material foi selecionado para leitura em sua totalidade. Em seguida, foram aceitos ou rejeitados. Os critérios de (I) inclusão e (E) exclusão utilizados para cada trabalho analisado, são elencados a seguir: (I) trabalhos que tratem de energias renováveis, especialmente energia eólica; abordagem de energia eólica em cidades baianas; materiais que usem ou referenciam a visualização de dados (especialmente visualização em redes) aplicada às energias renováveis; (E) trabalhos que não tratem de energias renováveis; artigos que não possuam fator de impacto ou indexação.

---

<sup>6</sup> <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>

b) Etapa 2- Identificação e caracterização da área de estudo, cuja finalidade foi conhecer *in loco* as principais características do local (vegetação, uso do solo, fauna, flora e a relação destas características com os impactos ambientais associados às energias renováveis). Por meio do trabalho de campo no local, foi possível a obtenção de subsídios para a identificação e caracterização dos impactos ambientais.

c) Etapa 3- Análise do Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) do complexo de energia eólica a ser implementado entre as cidades de Sento Sé e Umburanas.

Previamente à análise objetivada, foram catalogados os impactos ambientais listados no RIMA e classificados em termos de fase (planejamento, implantação, operação e desativação); meio (biótico, sócio e físico); atividade relacionada (atividade realizada causadora do impacto ambiental); aspecto (fenômeno de ocorrência que gera o impacto ambiental); classificação (positivo ou negativo); importância (alta, baixa ou média); abrangência (local, pontual ou regional); ocorrência (certeza, ocasional ou provável); duração (cíclica, permanente, temporária); e irreversibilidade (a curto prazo, a médio prazo ou irreversível).

Ao final da catalogação foi obtida uma base de dados contendo os impactos ambientais e seus respectivos parâmetros de relacionamento, que serviu para construir uma rede que relaciona os impactos ambientais com a fase do empreendimento e meio de interferência. O *software* de código aberto e gratuito utilizado para a elaboração dos diagramas de rede foi o Gephi 0.10.1.

Os algoritmos e métricas estatísticas aplicadas neste estudo foram para visão geral da rede em relação ao grau médio, grau médio ponderado, diâmetro da rede, densidade do gráfico e modularidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Revisão Sistemática da Literatura foram selecionados mais de 200 artigos e destes foram extraídos 34, com base nos critérios de inclusão e exclusão citados na metodologia deste trabalho

Dos 34 artigos, foram aceitos 6, 2 duplicados e 26 artigos rejeitados. O Quadro 1 apresenta os trabalhos aceitos na revisão sistemática, destacando título, autores e principais considerações destes artigos para esta pesquisa.

**Quadro 1 - Síntese dos Trabalhos aceitos por meio da Revisão Sistemática da Literatura**

Referência	Comentários
Mazzeo, D., Matera, N., De Luca, P., Baglivo, C., Congedo, P. M., & Oliveti, G. (2021). A literature review and statistical analysis of photovoltaic-wind hybrid renewable system research by considering the most relevant 550 articles: An upgradable matrix literature database. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 295, 126070.	Utilização de sistema híbrido de energia fotovoltaica e energia eólica. Sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos.
Leung, D. Y., & Yang, Y. (2012). Wind energy development and its environmental impact: A review. <i>Renewable and Sustainable Energy reviews</i> , 16(1), 1031-1039.	Visão geral dos cenários mundiais de energia eólica, o estado atual do desenvolvimento de turbinas eólicas, as tendências de desenvolvimento de parques eólicos offshore e o impacto ambiental e climático dos parques eólicos.
Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., & Solangi, K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. <i>Renewable and Sustainable Energy reviews</i> , 15(5), 2423-2430.	Estudo comparativo da energia eólica, problemas, soluções e sugestões como resultado da implantação de turbinas eólicas.
Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. <i>The Journal of Wildlife Management</i> , 72(1), 123-132.	Este estudo empírico investiga a morte de morcegos pela operação de turbinas eólicas.
Colmenares-Quintero, R. F., Quiroga-Parra, D. J., Rojas, N., Stansfield, K. E., & Colmenares-Quintero, J. C. (2021). Big Data analytics in Smart Grids for renewable energy networks: Systematic review of information and communication technology tools. <i>Cogent Engineering</i> , 8(1), 1935410.	Estratégias de análise e visualização de dados aplicadas às empresas de energia.
Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W. N., & Huang, Z. (2015). Environmental issues associated with wind energy—A review. <i>Renewable energy</i> , 75, 911-921.	Revisão sobre as questões ambientais causadas pelos parques eólicos e estratégias para mitigar os impactos.

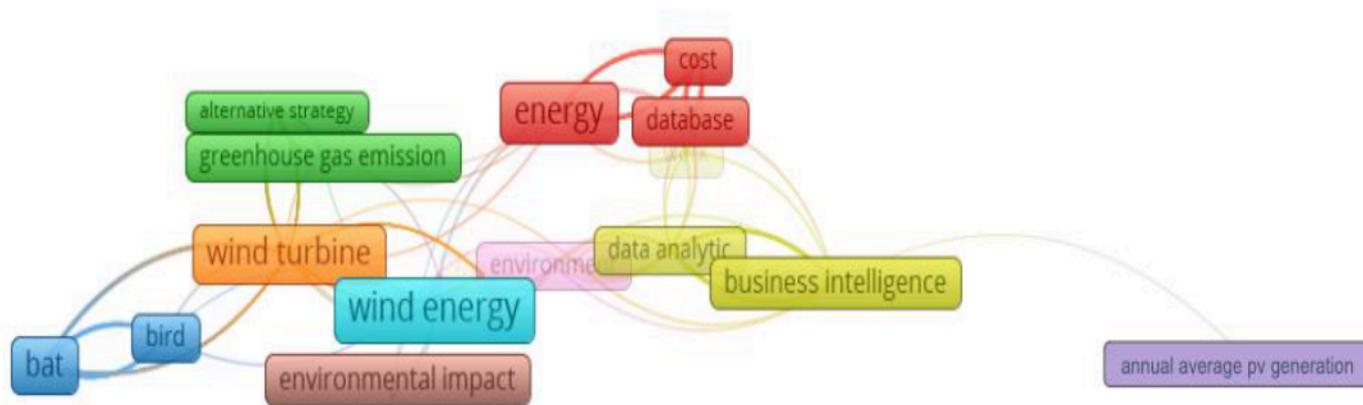
Fonte: Autores, 2023.

Os estudos analisados na revisão sistemática destacaram que, embora as fontes renováveis sejam consideradas ambientalmente amigáveis, é essencial considerar o planejamento adequado e a gestão dos recursos naturais envolvidos. Impactos como a interferência na fauna e na flora local, a ocupação de áreas protegidas e os possíveis efeitos na paisagem foram discutidos na literatura revisada. O impacto direto é a

mortalidade de morcegos e aves por colisões com usinas de energia eólica, enquanto os impactos indiretos são destruição de habitat e deslocamento.

A Figura 1 ilustra a rede semântica extraída do *software* StArt, e demonstra o relacionamento entre as principais palavras-chave dos artigos selecionados e aceitos na revisão sistemática. A rede demonstra oito principais grupos de artigos e as diferentes cores foram usadas para distinguir os *clusters*. Os nós centrais do *cluster* vermelho contêm as palavras-chave: energia, custo e banco de dados. O *cluster* verde inclui estratégia alternativa e emissão de gases de efeito estufa. O *cluster* laranja está relacionado à turbina eólica e este *cluster* relaciona-se diretamente aos *clusters* azuis que incluem energia eólica, morcego e pássaro. O *cluster* marrom sobre impactos ambientais está vinculado aos impactos da energia eólica, principalmente. O *cluster* amarelo apresenta as palavras-chave análise de dados e *business intelligence*. O *cluster* roxo, que é menor, apresenta a expressão geração média anual de energia fotovoltaica.

**Figura 1 - Rede semântica das palavras-chave relacionadas aos artigos selecionados na Revisão Sistemática da Literatura.**



Fonte: Autores, 2023

Os impactos ambientais identificados através da análise dos RIMA's aprovados pelo órgão ambiental foram: mudança de rota das aves, colisão por animais, alterações das características físicas do solo e dos recursos hídricos (subterrâneos também), poluição sonora, mudança da paisagem local. Foi observado que o documento não pontua sobre a

geração de microclima e a geração de resíduos de pás de turbinas eólicas, apontados pela literatura como possíveis impactos negativos (Heng; Meng; McKechnie, 2021).

**Figura 2 - Torre eólica na estrada de Sento Sé/BA.**



Fonte: Autores, 2023.

Apenas o RIMA do empreendimento de energia eólica instalado no município de Sento Sé (Figura 2) elenca impactos positivos na fase de operação da usina, os quais são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Impactos ambientais categorizados conforme a fase de operação de um empreendimento de energia eólica**

Impacto Ambiental	Fase	Meio
Redução da emissão de CO <sub>2</sub> por MW de energia gerada	Operação	Físico
Dinamização da Economia	Operação	Sócio
Aumento na arrecadação de impostos	Operação	Sócio
Incremento da renda para os proprietários com terras arrendadas	Operação	Sócio
Contribuição do empreendimento como indutor no desenvolvimento sustentável da região	Operação	Sócio
Aumento de investimento em Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação dos equipamentos	Operação	Sócio

Fonte: Autores, 2023.

A Tabela 1 e a Figura 3 mostram as ocorrências dos impactos ambientais nas diferentes fases do ciclo de vida de usinas de energia eólica localizadas em Sento Sé e Umburanas. A representação em rede na Figura 3 permite destacar os impactos

identificados (arestas) e as fases do ciclo de vida da usina eólica, implantação, operação, planejamento e desativação (nós).

**Tabela 1 - Frequência de ocorrência de impactos ambientais nos municípios de Sento Sé e Umburanas e relação com as atividades que ocorrem nas fases do ciclo de vida de um empreendimento de energia eólica**

Fases do ciclo de vida de uma usina de energia eólica	Frequência de ocorrência dos impactos ambientais	Exemplos de impactos	Exemplos de atividades que ocasionam os impactos
Planejamento	16	Alteração das características físicas do solo e dos recursos hídricos; Danos à fauna e à flora, perda de habitats; Geração de expectativas negativas em relação ao empreendimento; Valorização de imóveis do entorno do empreendimento; Incremento na arrecadação de impostos.	Instalação da torre anemométrica; Elaboração dos estudos ambientais do meio biótico; Pagamento de tributos.
Implantação	24	Alteração da paisagem e surgimento de processos erosivos; Aumento do consumo de drogas lícitas e ilícitas, prostituição e violência; Melhoria da infraestrutura local	Terraplanagem do terreno; Migração de trabalhadores para área de influência do empreendimento; Melhorias/Implantação de vias de acesso internas e externas do complexo eólico.
Operação	21	Redução da emissão de CO2 por Megawatt de energia gerada; Poluição sonora; Aumento de investimento em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação dos equipamentos.	Geração de energia no complexo eólico; Aerogeradores em operação; Operação do complexo eólico.
Desativação	5	Atropelamento da fauna; Diminuição na arrecadação de impostos; Desemprego na fase final (perda de meios de sobrevivência)	Retirada das estruturas do complexo eólico; Desativação do complexo eólico; Desmobilização do complexo eólico
<b>Total</b>	<b>66 impactos ambientais</b>		

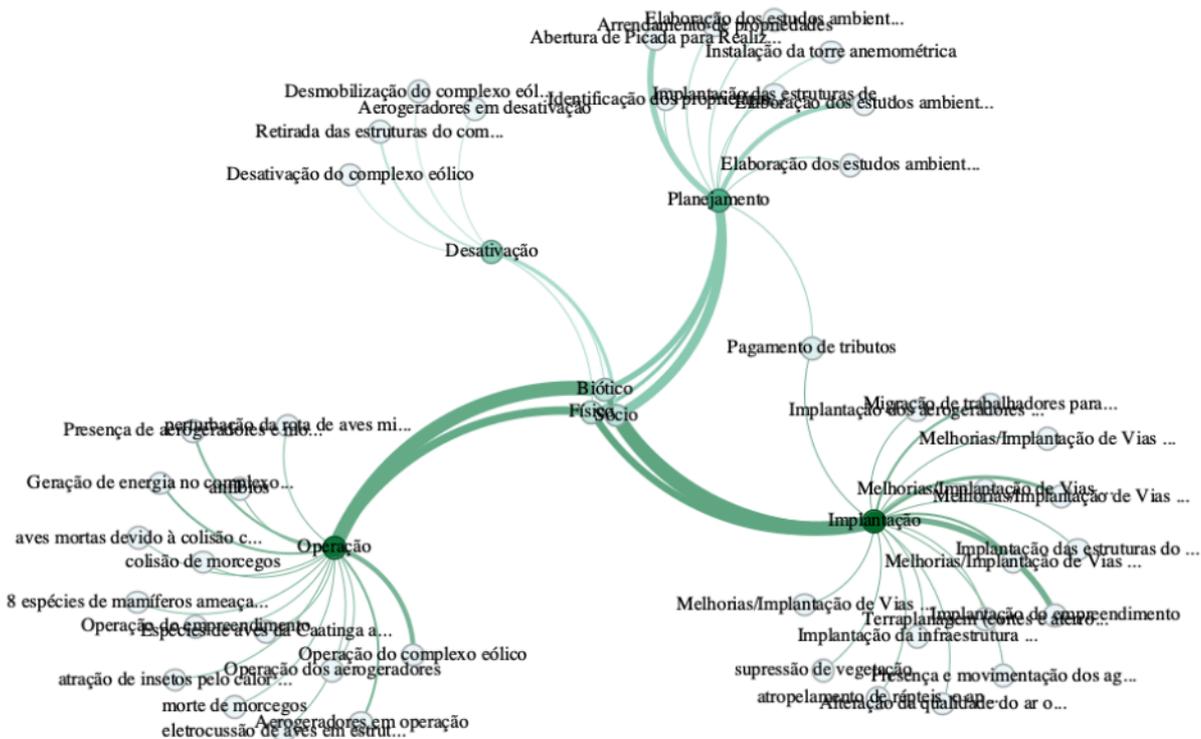
A Tabela 1 totaliza os 66 impactos ambientais catalogados nos RIMA's dos empreendimentos eólicos localizados nos municípios baianos de Sento Sé e Umburanas. Na Tabela 1 são exemplificados alguns dos impactos ocasionados nas fases do ciclo de vida de usinas eólicas, sendo o maior número de impactos catalogados nas fases de implantação (24) e operação (21). Destaque para os impactos sociais previstos em todas as fases do empreendimento. O quadro completo com os 66 impactos ambientais e suas atividades relacionadas é apresentado no material suplementar (Quadro S1).

Conforme a Figura 3 é possível observar os impactos ambientais de duas usinas localizadas nos municípios de Sento Sé e Umburanas. Assim, é possível criar uma rede de interconectividade de impactos ambientais em parques eólicos localizados nos municípios baianos. Cada conexão que um nó estabelece com o restante da rede está associada com a medida de grau, que neste sentido expressa valores desconhecidos na rede. Sendo assim, isto gera uma preocupação com a quantidade de impactos envolvidos em cada estágio do complexo eólico podendo resultar na negligência da importância intrínseca de cada impacto, mas que ainda, sim, é importante para orientar possíveis decisões dos órgãos ambientais competentes para monitorar o empreendimento *a posteriori*. Isso se deve ao fato de que a fase de implantação apresenta mais interconexões com diversos impactos que são demonstrados pela intensidade da cor verde nos nós de implantação e operação interconectadas aos meios físico, biótico e social (Figura 3).

Para a Figura 3 foi utilizado o algoritmo de distribuição de *layout* de Yifan Hu proporcional<sup>7</sup>. Este algoritmo estabelece um deslocamento proporcional para distribuir os vértices na área do grafo. De início, o algoritmo agrupa os nós e depois aplica uma lógica de força a estes. Assim, com método baseado nos pesos das arestas, o desenho da rede é baseado nas semelhanças e/ou diferenças nos dados. O algoritmo de Yifan Hu proporcional é bastante intuitivo, do ponto de vista visual, para tratar de dados que se referem a transições, hierarquias ou níveis (Hu, 2006). Neste trabalho, as transições são os estágios do empreendimento (do menor para o maior) e os tipos de impactos biótico, físico e social são os pesos ou forças das arestas.

<sup>7</sup> <https://gephi.org/tutorials/gephi-tutorial-layouts.pdf>

**Figura 3 - Rede de interações entre impactos ambientais e estágios de funcionamento dos empreendimentos eólicos localizados nos municípios de Santo Sé e Umburanas, Bahia.**



Fonte: Autores, 2023

A Figura 3 aponta a existência de quatro *clusters*. O grau médio e grau médio ponderado foram calculados para avaliar a conectividade geral da rede. A modularidade da rede é 0,39, conforme Tabela 2, indicando que a rede é dividida em grupos distintos. Estes grupos representam diferentes impactos ambientais dos parques eólicos.

**Tabela 2 - Estatísticas para a Rede de interações entre impactos ambientais e estágios de funcionamento dos empreendimentos eólicos.**

Visão geral da rede	
Grau médio	1,12
Grau médio ponderado	2,64
Diâmetro da rede	1
Densidade do grafo	0,023
Modularidade	0,39

Fonte: Autores, 2023.

A avaliação dos impactos ambientais das energias renováveis nas cidades baianas exigiu a análise de um grande volume de informações e a consideração de diferentes aspectos, como a interferência na fauna, na flora e na paisagem local.

As redes auxiliam os especialistas em avaliação de impactos ambientais na identificação e avaliação dos impactos relacionados às energias renováveis. Visualmente, as redes aqui apresentadas ainda podem servir para a sociedade tomar decisões informadas ao pesar as vantagens e desvantagens da implementação de empreendimentos de energia eólica.

## CONCLUSÕES

As informações extraídas dos RIMA's foram transformadas em redes, possibilitando determinar as relações entre os impactos ambientais e as fases de operação de parques eólicos. Uma das principais contribuições deste trabalho foi apresentar as relações entre os impactos ambientais e empreendimento de energia renovável instalado em cidades baianas. Utilizando as ferramentas de análise de rede, também foi possível identificar as principais variáveis e os principais impactos ambientais.

Uma dificuldade apontada por este trabalho correspondeu à complexidade das análises e garantir uma abordagem abrangente e precisa. A solução adotada foi realizar revisões sistemáticas da literatura e o auxílio da visualização por meio das redes.

Neste trabalho as redes foram utilizadas para visualização no campo da avaliação de impactos ambientais. No entanto, podem ser realizados estudos mais aprofundados na ciência das redes para intensificar a implementação da agenda relativa aos objetivos de desenvolvimento sustentável no intuito de contribuir para o olhar crítico da energia eólica, além de recurso de energia renovável limpo e ecológico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal da Bahia pelo financiamento deste trabalho através do Edital 15/202 da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI) de Apoio a Grupos de Pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, por meio do Programa de Pós-Graduação Multi-Institucional em Difusão do Conhecimento (PPGDC), programa em associação com o

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, a Universidade Federal da Bahia (UFBA), a Universidade do Estado da Bahia (UNEB), a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), o Centro Universitário SENAI CIMATEC e o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC).

## REFERÊNCIAS

ATLAS eólico: Bahia. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI; SEINFRA; CIMATEC/SENAI, 2013. 96 p. Disponível em:  
<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/arquivos/File/publicacoes/atlaseolicobahia2013.pdf>

BARRERO, F. M. C.; SIQUEIRA FILHO, J. A.; FREITAS, H. R.; MARQUES, J. Os Ventos do Norte e as ameaças às Serras do Sertão da Bahia. In: XXIV SHE International Conference, Rio Grande do Norte, v. 5, 2021. Anais eletrônicos [...] 2021, p. 2-444. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Helder-Freitas-2/publication/357553532\\_Os\\_Ventos\\_do\\_Norte\\_e\\_as\\_ameacas\\_as\\_Serras\\_do\\_Sertao\\_da\\_Bahia/links/6304c8b561e4553b9531bfa4/Os-Ventos-do-Norte-e-as-ameacas-as-Serras-do-Sertao-da-Bahia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Helder-Freitas-2/publication/357553532_Os_Ventos_do_Norte_e_as_ameacas_as_Serras_do_Sertao_da_Bahia/links/6304c8b561e4553b9531bfa4/Os-Ventos-do-Norte-e-as-ameacas-as-Serras-do-Sertao-da-Bahia.pdf). Acesso em: 27 set. 2023.

BRASIL. Decreto n. 9.336, de 5 de abr. de 2018. Cria o Parque Nacional do Boqueirão da Onça, localizado nos Municípios de Sento Sé, Juazeiro, Sobradinho e Campo Formoso, Estado da Bahia. Disponível em:  
[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/d9336.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9336.htm). Acesso em: 20 set. 2023.

CLAUBERG, A. P. C.; BECEGATO, V. A.; MELLO, R., HENKES, J. A. Análise conjuntural da predição de impactos ambientais relacionados às centrais hidrelétricas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 44-66. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e1202044-66>

COLMENARES-QUINTERO, R. F., QUIROGA-PARRA, D. J., ROJAS, N., STANSFIELD, K. E., & COLMENARES-QUINTERO, J. C. (2021). Big Data analytics in Smart Grids for renewable energy networks: Systematic review of information and communication technology tools. *Cogent Engineering*, 8(1), 1935410.

DAI, K.; BERGOT, A.; LIANG, C.; XIANG, W. N.; HUANG, Z. Environmental issues associated with wind energy—A review. *Renewable Energy*, v. 75, p. 911-921. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.074>

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional 2022**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em:  
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Cerca de 47% das usinas eólicas em operação estão nos municípios de Sento Sé, Caetité e Morro do Chapéu. Disponível em:

<http://www.sde.ba.gov.br/index.php/2022/11/10/cerca-de-47-das-usinas-eolicas-em-operacao-estao-nos-municipios-de-sento-se-caetite-e-morro-do-chapeu/>. Acesso em: 20 set. 2023.

HENG, H.; MENG, F.; MCKECHNIE, J. Wind turbine blade wastes and the environmental impacts in Canada. *Waste Management*, v. 133, p. 59-70. 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.032>

HORN, J. W., ARNETT, E. B., & KUNZ, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123-132.

HU, Y. Efficient, high-quality force-directed graph drawing. *The Mathematica Journal*, 10, v. 1. 2006. Disponível em: <http://www.mathematica-journal.com>

[/issue/v10i1/contents/graph\\_draw/graph\\_draw.pdf](http://www.mathematica-journal.com/issue/v10i1/contents/graph_draw/graph_draw.pdf). Acesso em: 20 set. 2023.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade. Caracterização da Fauna de Vertebrados de polígono alvo para criação de uma unidade de conservação federal

em Curaçá – BA. São Paulo: 2014. Disponível em:

[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/caracterizacao\\_da\\_fauna\\_consultapublica.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/caracterizacao_da_fauna_consultapublica.pdf). Acesso em 20 set. 2023.

LEUNG, D. Y. C.; YANG, Y. Wind energy development and its environmental impact: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 1, p. 1031-1039. 2012.

MARTÍNEZ, L. F.; TORO, J.; J. LEÓN, C. A complex network approach to environmental impact assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. 37, p. 407-420. 2019.

MAZZEO, D., MATERA, N., DE LUCA, P., BAGLIVO, C., CONGEDO, P. M., & OLIVETI, G. (2021). A literature review and statistical analysis of photovoltaic-wind hybrid renewable system research by considering the most relevant 550 articles: An upgradable matrix literature database. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126070.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA, Série Biodiversidade, 31. 2007.

SAIDUR, R.; RAHIM, N. A.; ISLAM, M. R.; SOLANGI, K. H. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 2423-2430. 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>

ŠTEFÁNIKOVÁ, E.; MASÁROVÀ, G. The need of complex competitive intelligence. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* , v. 110 , p. 669-677. 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.911>

WANG, S.; WANG, S. Impacts of wind energy on environment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p. 437-443. 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.137>