

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ORGANIZAÇÕES E MERCADOS



Dissertação

Caminhos para a Sustentabilidade Energética: Ensaio sobre energias sustentáveis para o Brasil

Mikael Jhordan Lacerda Cordeiro

Pelotas, 2024

Mikael Jhordan Lacerda Cordeiro

Caminhos para a Sustentabilidade Energética: Ensaio sobre energias sustentáveis para o Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados da Faculdade de Economia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas.

Orientador: Daniel de Abreu Pereira Uhr

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

C794c Cordeiro, Mikael Jhordan Lacerda

Caminhos para a sustentabilidade energética [recurso eletrônico] :
ensaio sobre energias sustentáveis para o Brasil / Mikael Jhordan
Lacerda Cordeiro ; Daniel de Abreu Pereira Uhr, orientador. — Pelotas,
2024.

100 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em
Organizações e Mercados, Instituto de Ciências Humanas, Universidade
Federal de Pelotas, 2024.

1. Sustentabilidade energética. I. Uhr, Daniel de Abreu Pereira, orient.
II. Título.

CDD 333.794

Elaborada por Maria Inez Figueiredo Figs Machado CRB: 10/1612

Mikael Jhordan Lacerda Cordeiro

Caminhos para a Sustentabilidade Energética: Ensaio sobre energias sustentáveis para o Brasil.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados, Faculdade de Economia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 23/02/2024

Banca examinadora:

Prof. Dr. Daniel de Abreu Pereira Uhr (Orientador) Doutor em Economia pela Universidade de Brasília.

Prof. Dr. Francis Carlo Petterini Lourenço Doutor em Economia pela Universidade Federal do Ceará.

Prof. Dr. Gabrielito Rauter Menezes Doutor em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dra. Julia Gallego Ziero Uhr Doutora em Economia pela Universidade de Brasília.

Agradecimentos

Ao longo destes anos de estudo e dedicação no mestrado, gostaria de agradecer inicialmente a Deus, todo-poderoso, criador do céu e da Terra, e a Jesus Cristo, verdadeiro Deus e verdadeiro homem, fonte de todo amor e conhecimento. Em Sua infinita bondade e graça, Ele me deu a força necessária para superar as barreiras da vida, as dificuldades dos estudos e a distância da família. Agradeço também a Santíssima Virgem Maria que intercede por mim no Céu, junto aos anjos e aos Santos.

Expresso também meus agradecimentos a minha família, em especial minha mãe Sara Lacerda e meu pai José Silva que durante muitos anos me aconselharam e me instruíram a permanecer firme nos estudos. Eles me proporcionaram todo o suporte material, psicológico e afetivo necessário para alcançar meus objetivos.

À Suélen Starke, que ao longo destes anos de mestrado, esteve ao meu lado sendo uma companheira incansável.

Ao meu orientador Daniel Urh que ao longo dos anos com muita paciência e extrema dedicação me auxiliou e instruiu na vida acadêmica, moldando-me um profissional mais capaz e produtivo. Hoje, ele não é apenas um professor e orientador, mas também um amigo.

À UFPel pela oportunidade, ao PPGOM e seus professores exemplarmente formar os melhores pesquisadores desse país. A CAPES pela bolsa de incentivo a pesquisa. Aos milhões de brasileiros que contribuem com seus impostos.

Criador inefável, que, em meio aos tesouros de Vossa Sabedoria, elegestes três hierarquias de anjos e as dispusestes em uma ordem admirável acima dos Céus, que dispusestes com tanta beleza as partes do universo; Vós, a quem chamamos a verdadeira Fonte de Luz e de Sabedoria, e o Princípio supereminente, dignai-vos derramar sobre as trevas de minha inteligência um raio de Vossa clareza. Afastai para longe de mim a dupla obscuridade na qual nasci: o pecado e a ignorância.

Vós, que tornais eloquente a língua das criancinhas, modelai minha palavra e derramai nos meus lábios a graça de Vossa bênção. Dai-me a penetração da inteligência, a faculdade de lembrar-me, o método e a facilidade do estudo, a profundidade na interpretação e uma graça abundante de expressão. Fortificai meu estudo, dirigi o seu curso, aperfeiçoi o seu fim, Vós que sois verdadeiro Deus e verdadeiro homem, e que viveis nos séculos dos séculos. Amém.

São Tommaso d'Aquino, Doctor Angelicus

Lista de Figuras

3. Uma Análise Bibliométrica Sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas: Principais Tendências, Lacunas E Desafios para Futuras Investigações	30
Figura 1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa	33
Figura 2 – Quantidade de publicação por ano	35
Figura 3 – Redes de cooperação entre países/regiões na literatura sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas	37
Figura 4- Redes institucionais de cooperação em pesquisa na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	39
Figura 5 – Redes de cooperação entre diferentes autores na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	40
Figura 6 - Visualização da análise de cocitação de periódicos	43
Figura 7 - Mapa de visualização da análise de cocitação de autores	45
Figura 8 – Mapa da análise da citação dos documentos citados	46
Figura 9 - Visualização da análise de citações de periódicos	49
Figura 10 - Mapa de visualização da análise de citações de autores	50
Figura 11 – Mapa de visualização da análise de citações das organizações	52
Figura 12 – Mapa de visualização da análise de citações de países	54
Figura 13 - Rede de visualização da análise de co-ocorrência de palavras-chave	55
Figura 14 - Gráfico das principais palavras-chave distribuído por ano classificadas por explosão de citação.....	58
4. O impacto da instalação de usinas de energia sustentável na renda dos trabalhadores brasileiros: uma abordagem através do método de diferença em diferenças sintético	64
Figura 1 – Evolução da instalação de usinas de energia sustentável no Brasil	75

Lista de Tabelas

3. Uma Análise Bibliométrica Sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas: Principais Tendências, Lacunas E Desafios para Futuras Investigações	30
Tabela 1 – Tipos de documentos	34
Tabela 2 – Os 10 principais países na literatura sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas	36
Tabela 3 – Top 10 filiações mais relevantes na literatura sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas	38
Tabela 4 – Top 10 autores que mais publicaram sobre a literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	40
Tabela 5 – Top 10 periódicos na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas.	42
Tabela 6 – Top 10 autores mais citados em Pequenas Centrais Hidrelétricas	44
Tabela 7 – Top 10 dos artigos mais citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas. ..	46
Tabela 8 – Os 10 principais periódicos citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	48
Tabela 9 – Os 10 principais autores citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas ..	49
Tabela 10 – As 10 principais organizações citadas na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	51
Tabela 11 – Os 10 principais países citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	53
Tabela 12 – As 15 principais palavras-chave classificadas por frequência de citação na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas	56
Tabela 13 - As principais palavras-chave classificadas por explosão de citação.	57
4. O impacto da instalação de usinas de energia sustentável na renda dos trabalhadores brasileiros: uma abordagem através do método de diferença em diferenças sintético	64
Tabela 1 – Estatísticas Descritivas	73
Tabela 2 – Diferença em Diferenças Sintética	77
Tabela 3 – Diferença em Diferenças Sintética com Covariáveis	78
Tabela 4 – Diferença em Diferenças Sintético com heterogeneidade no tratamento	79
Tabela 5 – Callaway and Sant’Anna Diferença em Diferenças (CSDD)	81
Tabela 6 – Callaway and Sant’Anna Diferença em Diferenças (CSDD) com Heterogeneidade de Tratamento.....	82
Tabela 7 – Distribuição das plantas nas regiões do Brasil	84

Tabela 8 – Diferença em Diferenças Sintético para Pequenas Centrais Hidrelétricas nas regiões do Brasil	85
Tabela 9 – Diferença em Diferenças Sintético para usinas de Biomassas nas regiões do Brasil	86
Tabela 10 – Diferença em Diferenças Sintético para usinas eólicas nas regiões do Brasil	87
Tabela 11 – Análise de Custos e Benefícios	89

Sumário

1. Introdução Geral.....	12
2. Desenvolvimento da matriz energética, políticas de expansão e perspectivas para o futuro.....	13
2.1. Introdução	14
2.2. Evolução Histórica Do Marco Regulatório Do Setor Elétrico Brasileiro.....	15
2.3. Políticas De Expansão Da Matriz De Energia Renováveis Do Brasil.....	21
2.4. Perspectivas Futuras	22
2.5. Conclusões	24
Referências.....	25
3. Uma Análise Bibliométrica Sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas: Principais Tendências, Lacunas E Desafios para Futuras Investigações	30
3.1. Introdução	31
3.2. Contextualização teórica sobre as pequenas centrais hidrelétricas.....	31
3.2.1. Definições básicas de uma pequena central hidrelétrica	32
3.3. Metodologia de Pesquisa	33
3.4. Resultados.....	34
3.4.1. Análise de coautoria	35
3.4.1.1 Países e regiões	36
3.4.1.2 Instituições	37
3.4.1.3 Análise de autores e coautores.....	39
3.4.2 Análise de Cocitações	41
3.4.2.1 Periódicos	41
3.4.2.2 Cocitação de autores.....	43
3.4.2. Análise de citação	45
3.4.2.1 Análise de citação de documentos	45
3.4.2.2 Análise de Fontes	47
3.4.2.3 Citação de autores	49
3.4.2.4 Organizações.....	51
3.4.2.5 Países	52
3.4.3. Análise de palavras-chaves	54
3.4.3.1 Análise de co-ocorrência.....	54
3.4.3.2 Fronteiras de pesquisa.....	57

3.5. Conclusões	59
Referências	60
4. O impacto da instalação de usinas de energia sustentável na renda dos trabalhadores brasileiros: uma abordagem através do método de diferença em diferenças sintético	64
4.1. Introdução	65
4.2. Revisão da Literatura	66
4.2.1. A Regulação das Energias Renováveis no Brasil.....	66
4.2.2. Pequenas Centrais Hidroelétricas, Usinas Térmicas de Biomassa e Usinas Eólicas	68
4.2.3. O Impacto Socioeconômicos e Hipóteses de Pesquisa	70
4.3. Dados.....	72
4.4. Método	75
4.5. Resultados e Discussões	76
4.5.1 Diferença em Diferenças Sintético sem Covariáveis	76
4.5.2 Diferença em Diferenças Sintético com Covariáveis	78
4.6. Análise de Robustez.....	78
4.6.1 Análise Heterogênea do Tratamento	79
4.6.2. Diferença em Diferenças Duplamente Robusto	80
4.7. Análise de Custo e Benefício	87
4.8. Considerações Finais	89
Referências	92
5. Conclusão geral	99

1. Introdução Geral

A busca por fontes mais sustentáveis na geração de energia tem se tornado uma preocupação de diversos países, especialmente devido a necessidade de descarbonização do setor elétrico para mitigação das mudanças climáticas. No contexto brasileiro, as energias renováveis têm desempenhado um papel fundamental, não apenas na diversificação da matriz energética nacional, mas também potencialmente auxiliando no desenvolvimento econômico local. Dessa forma, essa dissertação investiga as energias sustentáveis no Brasil, analisando o histórico do desenvolvimento e as perspectivas futuras, o estado da arte da literatura atual, além de analisar os impactos econômicos e sociais de sua implementação.

Três ensaios compõem essa dissertação, cada uma abordando aspectos específicos relacionados ao setor elétrico brasileiro. O primeiro ensaio apresenta o ambiente regulatório, desde 1879 até 2022. Além de analisar as formas de financiamento e políticas públicas de incentivo para as fontes renováveis, detalhando as perspectivas futuras com o Plano Nacional de Energia para 2050. Assim, o estudo busca contextualizar as políticas que impactaram o desenvolvimento do setor no Brasil, evidenciando as tendências futuras do investimento no setor hídrico do país, principalmente nas pequenas centrais hidrelétricas. O segundo ensaio, complementa o primeiro ao fazer uma revisão bibliométrica da literatura com foco sobre pequenas centrais hidrelétricas, abrangendo o período de 1945 até 2023, apresentando os *hotspots*, fronteiras e tendências emergentes sobre o tema, contribuindo para uma visão do estado atual do conhecimento sobre o tema. O terceiro estudo, por sua vez, busca preencher uma lacuna na literatura nos estudos da avaliação do impacto da instalação de pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassa e usinas eólicas na renda do trabalho e na renda setorial do trabalho em municípios brasileiros.

A metodologia empregada no primeiro ensaio para analisar a histórico e evolução do setor elétrico brasileiro, é realizada com a revisão histórica baseado em documentos oficiais do governo brasileiro. A análise bibliométrica sobre as pequenas centrais hidrelétricas, utiliza a base indexadora *Web of Science*, juntamente com o *software VOSViewer* e *Sci²*. A análise do impacto da implementação das pequenas centrais hidrelétricas, das usinas terminas de biomassas e usinas eólicas empregou a metodologia de Diferença em Diferenças Sintético (SDD), com verificações de robustez com a metodologia de Diferença em Diferenças Duplamente Robusto (CSDD) e análise heterogênea.

Os resultados desses estudos demonstram o compromisso do Brasil em continuar expandindo seu uso de fontes renováveis e em buscar a autossuficiência energética, alinhado com os objetivos de sustentabilidade global. Além de evidenciar o estado atual das pesquisas sobre pequenas centrais hidrelétricas, apresentando as tendências emergentes para futuras pesquisas, áreas de pesquisa promissoras e colaborações acadêmicas significativas. Ademais, identifica que a implementação de pequenas centrais hidrelétricas e usinas térmicas de biomassas têm impactos positivos significativos, enquanto as usinas eólicas não apresentaram efeitos estatisticamente significativos.

2. Desenvolvimento da matriz energética, políticas de expansão e perspectivas para o futuro

Resumo

O histórico do Brasil com o setor elétrico é um dos mais consolidados, sendo que o primeiro os primeiros contatos com a eletricidade remontando 1879 e sua primeira usina em 1883. O surgimento e o desenvolvimento do setor elétrico do Brasil, foi resultado do grande investimento coordenado do Estado em empresas estatais e o setor privado, tornando-se uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo. Entretanto, inicialmente o papel do Estado foi o de monopolista no setor, e posteriormente, após crises energéticas, a falta de investimento pelo aumento dívida pública da união e as unidades da federação, fez com que o seu papel se tornasse para um agente de fiscalização, regulação e incentivos fiscais e de crédito no setor. Isso resultou em uma reestruturação no setor criando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 1996 para regular o setor elétrico Brasileiro, regulação do setor, além de fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em todo território nacional, observando a conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal, além de legislações que incentivasse a expansão das energias renováveis. Este artigo, portanto, tem como objetivo evidenciar o histórico completo e a evolução geral das leis e avanços do setor de energia do Brasil desde seu início em 1879 através da permissão do imperador Brasileiro Dom Pedro II até os dias atuais, além de apresentar de forma detalhada as políticas públicas adotadas pelos sucessivos governos para expansão das energias renováveis e as perspectivas futuras para a matriz energética Brasileira, com o Plano Nacional de Energia para o ano de 2050.

2.1. Introdução

Atualmente a regulação do setor elétrico Brasileiro é feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (Brasil, 1996). Criada em 1996, pela Lei nº 9.427 e o Decreto nº 2.335, a agência é encarregada de realizar regulação do setor, além de fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em todo território nacional, observando a conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal (Brasil, 1997a). Ademais, o órgão também deve supervisionar diretamente ou mediante convenio com órgãos estaduais da federação as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica, estabelecer tarifas a serem praticadas, dirimir as divergências em âmbito administrativo entre agentes e consumidores, além de promover as entidades de outorgas e concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica.

Desde de 1996, como autoridade superior do sistema de energia Brasileiro, a ANEEL tem como tarefa organizar, orientar e regular as políticas públicas voltadas a transição energética e descarbonização do setor elétrico Brasileiro. Posteriormente, em 1997, foi criada a Eletrobrás Termonuclear S.A (Eletronuclear), a qual passou a ser responsável pelos projetos das usinas termonucleares Brasileiras. No mesmo ano, foi instituído o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), pela lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, o qual tem como principais atribuições a formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do País (Brasil, 1997b). Outro órgão do importante criado no período, sob responsabilidade de fiscalização por parte da ANEEL, foi o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país (Brasil, 2004a). O mercado de energia e suas regulações continuaram a se devolver no país, além disso, houve intervenção direta por parte do governo através de políticas de investimento. A primeira política pública de investimento em inovação, após a criação da ANEEL, ocorreu no ano 2000, através da Lei nº 9.991/2000, onde os contratos de concessão determinaram às empresas investir anualmente parte de sua receita operacional líquida em projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados para o setor de energia elétrica. Em 2002, o governo federal instituiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), através da lei nº 10.438, com previsão de contratação de 3,3 mil MW de energia eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas (Brasil, 2002b).

O Proinfa, se destacou por ser o maior programa de incentivo e promoção às fontes alternativas de energia elétrica do Brasil e do mundo (Dutra; Szklo, 2008). Tendo como objetivo principal a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e a diversificação da matriz energética nacional. Além de fomentar a geração de empregos e o avanço da industrialização e a tecnologia de ponta para o setor, minimizando as emissões de gases de efeito estufa (Eletrobras, 2023). Até 31 de dezembro de 2011, o programa financiou um total de 119 empreendimentos, constituído por 41 eólicas, 59 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 19 térmicas a biomassa. O estímulo a essas fontes é justificado devido à crise energética de 2001, a descarbonização do setor para a mitigação das mudanças climáticas e o fomento para a competitividade de fontes alternativas de energia (Dutra; Szklo, 2008; Lazaro *et al.*, 2022).

Com relação às perspectivas para o setor energético Brasileiro, em termos gerais, o país procura seguir acordos internacionais para o enfrentamento as mudanças climáticas comprometendo-se voluntariamente em: (i) reduzir as emissões de gases de efeito estufa, (ii) aumentar a participação de fontes renováveis na produção de energia, (iii) aumentar a

participação de biocombustíveis sustentáveis e (iv) em alcançar emissões líquidas neutras até 2050 (BNDES, 2021).

Desta forma, o objetivo deste artigo é apresentar o panorama da legislação e os principais elementos do desenvolvimento do ambiente regulatório Brasileiro, com o foco no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, bem como também examinar suas contribuições para o setor das PCHs, CGHs e as usinas biomassas, evidenciado o histórico das leis, decretos, portarias e políticas públicas de incentivo e financiamento e as perspectivas futuras para o setor.

A seção 2 descreve a evolução histórica do marco regulatório do setor elétrico Brasileiro. A seção 3 políticas de expansão da matriz de energia renováveis do Brasil na Seção 4 as perspectivas para o futuro. Por fim, na Seção 5, apresentamos nossas considerações finais.

2.2. Evolução Histórica Do Marco Regulatório Do Setor Elétrico Brasileiro

A energia elétrica chegou no Brasil em 1879 através da permissão do imperador Brasileiro Dom Pedro II a Thomas Edison para implementar seus equipamentos para fins de iluminação pública (Sulzberger, 2015). Em 1881, foram instaladas lâmpadas no Rio de Janeiro e dois anos depois foi inaugurado a primeira linha de bondes elétricos no país, na cidade de Niterói no Estado do Rio de Janeiro (ANEEL, 2023).

A primeira usina termoeletrica Brasileira foi instalada em 1883, no município de Campos, no estado do Rio de Janeiro (Lima *et al.*, 2020). No mesmo ano, entrou em operação uma usina hidrelétrica de pequeno porte, localizada em um afluente do Rio Jequitinhonha, para atender serviços de mineração no município de Diamantina, no estado de Minas Gerais (Amann; Azzoni; Baer, 2018). Já a primeira usina hidrelétrica propriamente dita foi inaugurada em 1889, também no estado de Minas Gerais. Além de ser a primeira hidrelétrica de grande porte da América Latina, essa usina forneceu energia para serviços de iluminação pública e particular (ANEEL, 2023).

Após o fim da monarquia Brasileira, o presidente Floriano Peixoto, inaugurou a segunda usina hidrelétrica do Brasil em 1893 (Romagnoli *et al.*, 2024). No ano de 1899, a primeira empresa estrangeira de energia a atuar no Brasil foi autorizada pelo presidente Campos Sales, chamada de *São Paulo Tramway, Light and Power Company* foi fundada em 7 de abril de 1899, em Toronto, no Canadá, começou a atuar em São Paulo por meio da construção da Usina Hidrelétrica Edgard de Sousa no município de Santana de Parnaíba, concluída em 1901 (ANEEL, 2023).

O início da regulamentação federal na indústria energética Brasileira iniciou em 1903, o presidente Rodrigues Alves institui a regulamentação federal da energia elétrica, a Lei nº 1.145 e o Decreto nº 5.407, autorizou o Governo Federal a promover, por via administrativa ou concessão, o aproveitamento da energia hidráulica dos rios Brasileiros para serviços públicos, com a possibilidade de uso dos excedentes para autoconsumo em atividades agroindustriais. A avaliação bem sucedida da *São Paulo Tramway, Light and Power Company* culminou, em 1905, na criação, no estado do Rio de Janeiro, da *Rio de Janeiro Tramway, Light and Power Company* pelos mesmos sócios canadenses, esses novos agentes receberam a autorização governamental para operar no estado, consolidando assim as bases para o desenvolvimento da indústria elétrica na região. Em 1905, foi instituído nos contratos de concessão da indústria energética a denominada Cláusula-Ouro, a qual conferia às empresas estrangeiras a prerrogativa de revisão de suas tarifas em decorrência das flutuações cambiais (ANEEL, 2023).

No ano de 1907, durante a gestão do presidente Afonso Pena, a expansão da infraestrutura elétrica Brasileira contou com a entrada em operação da Usina de Fontes, localizada no estado do Rio de Janeiro. Essa instalação passou a gerar energia destinada aos serviços de iluminação pública e à operação dos bondes elétricos da *Light* na cidade do Rio de Janeiro. No ano subsequente, em 1908, a Usina de Piabanha foi inaugurada pela empresa *Guinle & Cia*. Essa usina desempenhou um papel crucial ao iniciar o fornecimento de energia elétrica nas regiões de Niterói, Petrópolis e São Gonçalo, no estado do Rio de Janeiro, contribuindo para a expansão da cobertura elétrica na área. No contexto da expansão para outras regiões do país, destaca-se a criação da *Manaus Tramways & Light Company*, nesse mesmo ano, a empresa, de capital inglês, foi responsável pela exploração dos serviços de eletricidade e bondes no estado do Amazonas. E em 1909, foi fundada a *Companhia Brasileira de Energia Elétrica* (CBEE), assumindo o lugar da *Guinle & Cia* como concessionária de serviços de energia elétrica nos municípios dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia. Essa iniciativa consolidou-se como um marco na estruturação e organização do setor elétrico, refletindo os avanços na gestão e na expansão da infraestrutura energética no Brasil (ANEEL, 2023).

No governo do presidente Hermes da Fonseca, foi fundada em 1912, a *Companhia Paulista de Força e Luz* (CPFL). Nesse mesmo período, a Usina de Angiquinho, uma das primeiras hidrelétricas da região Nordeste, entrou em operação em 1913. No ano subsequente, em 1914, ocorreu a inauguração da Usina de Itupararanga pela *São Paulo Electric Company*, do grupo *Light*, com o objetivo de reforçar o suprimento de energia à capital paulista. No governo de Authur Bernardes, em 1923, a *Companhia de Energia Elétrica Rio-Grandense* (CEERG) iniciou a construção da central térmica do Gasômetro, em Porto Alegre. No ano seguinte, em 1924, a Rio Light inaugurou a hidrelétrica de Ilha dos Pombos no estado do Rio de Janeiro.

Durante os primeiros 15 anos do Governo do presidente Getúlio Vargas a história do mercado de energia do Brasil vivenciou mudanças significativas. Importantes marcos regulatórios e institucionais foram estabelecidos no setor elétrico Brasileiro, refletindo significativas transformações na gestão e no controle da produção mineral e hídrica, bem como na regulação das concessões e distribuição de energia elétrica. Em 1933, ocorreu a criação da Diretoria de Águas, uma reorganização do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, posteriormente transformada no Serviço de Águas. Nesse mesmo ano, foi vedada a Cláusula-Ouro, encerrando a possibilidade de revisão tarifária pelas empresas estrangeiras em decorrência da variação cambial (Brasil, 1933). Em 1934, o presidente Getúlio Vargas, criou o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), que abrangeu, entre outros, o Serviço de Águas. No mesmo ano, promulgou o Código de Águas, assegurando ao poder público a prerrogativa de controlar rigorosamente as concessionárias de energia elétrica e tornando a concessão de uso da queda d'água uma responsabilidade do Governo Federal (Brasil, 1938). Em 1938 foi atribuída à União a competência para autorizar e conceder linhas de transmissão e distribuição (Brasil, 1938). Em seguida em 1939, o presidente Getúlio Vargas, cria o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) como órgão de consulta, orientação e controle quanto à utilização dos recursos hidráulicos e de energia elétrica, com jurisdição em todo o território nacional (Brasil, 1939). Ademais, no âmbito da expansão energética, destaca-se em 1940, a inauguração da Usina Fontes Nova no estado do Rio de Janeiro promovida pelo grupo Light. E em 1945, foi autorizada a organização da *Companhia Hidro Elétrica do São Francisco* (CHESF) tornou-se a primeira empresa pública de eletricidade do país, com a missão de prover energia para grande parte da região Nordeste do Brasil, aproveitando o potencial hidrelétrico existente e após sua criação passou a fazer parte do grupo empresas sob controle das *Centrais Elétricas Brasileiras S.A.* (Eletrobras) (Brasil, 1945). Na “segunda era” do governo de Getúlio Vargas de 01 de janeiro

de 1951 a 23 de agosto de 1954 outros avanços importantes foram implementados contribuindo para o desenvolvimento e organização do setor de águas e energia elétrica no Brasil. Em 1952 foi estabelecida a criação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE). Este banco tinha como principal propósito a administração do Fundo de Reaparelhamento Econômico, sendo uma peça-chave no apoio financeiro a projetos e iniciativas voltados para o desenvolvimento econômico do país (Brasil, 1952).

No governo do presidente Café Filho foi instituído o Fundo Federal de Eletrificação (FFE) e o Imposto Único sobre Energia Elétrica (IUEE) que asseguram recursos de cunho fiscal para investimentos no setor elétrico, o FFE tinha como objetivo prover e financiar instalações de produção, transmissão e distribuição de energia elétrica, além de contribuir para o desenvolvimento da indústria de material elétrico. Essa medida fiscal foi crucial para mobilizar recursos destinados a investimentos no setor elétrico (Brasil, 1954). Ademais, foi inaugurada a Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso I, considerada a primeira hidrelétrica de grande porte do Nordeste.

Na presidência de Juscelino Kubitschek diversas medidas foram tomadas para impulsionar o setor elétrico em 1956, autorizou o Governo do Território Federal do Amapá a criar a *Companhia de Eletricidade do Amapá* (CEA), destinada a construir e explorar sistemas de produção e distribuição de energia elétrica (Brasil, 1956). Além disso, houve a nacionalização *São Paulo Tramway, Light and Power Company Ltda.* Em 1957, foi regulamentado o setor elétrico, e a criada a Central Elétrica de Furnas S.A, marcando a entrada do governo federal no mercado de energia no Sudeste do país. O governo Juscelino Kubitschek também foi responsável pela criação do Ministério de Minas e Energia (MME) (Brasil, 1957).

No governo do presidente João Goulart foi constituída a Eletrobras, em 1962, com a finalidade de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações para o suprimento de energia elétrica do país (Brasil, 1961). Ainda sob a administração João Goulart, em 1963, entrou em operação a primeira unidade geradora da Usina Hidrelétrica de Furnas, representando um dos maiores empreendimentos de geração de energia do país naquela época.

A partir de 1964, a estrutura administrativa e a governança econômica do Brasil mudou. O governo Brasileiro passou a ser administrado e planejado por um governo militar, assim, as principais políticas públicas de desenvolvimento eram centralizadas pelo governo federal. O primeiro presidente militar Brasileiro foi Castello Branco, que determinou a adoção da frequência de 60 Hertz para distribuição de energia elétrica no território nacional (Brasil, 1964). No ano seguinte, em 1965, transformou a Divisão de Águas do Departamento Nacional da Produção Mineral no Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAEE), e é o Órgão Central de Direção Superior responsável pelo planejamento, coordenação e execução dos estudos hidrológicos em todo o território nacional; pela supervisão, fiscalização e controle dos aproveitamentos das águas que alteram o seu regime, bem como pela supervisão, fiscalização e controle dos serviços de eletricidade (Brasil, 1965, 1975). E em 1966, o presidente Castello Branco criou as *Centrais Elétricas de São Paulo* (CESP), mediante a fusão de empresas de energia elétrica do governo paulista e mais a incorporação de pequenas concessionárias privadas.

No governo do presidente Costa e Silva, várias iniciativas marcaram o cenário do setor elétrico Brasileiro. Em 1967, a Usina Termelétrica Santa Cruz de Furnas entrou em operação, contribuindo para a oferta de energia elétrica na região, além de integrar o sistema de transmissão, proporcionando interligações complexas entre os sistemas Light, Cemig e CPFL, além de outras empresas do setor elétrico. Em 1968, foi constituída a Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. (Eletrosul), subsidiária da Eletrobras (Brasil, 1969), iniciando suas atividades de geração e transmissão de energia elétrica nos estados do Paraná, Rio

Grande do Sul e Santa Catarina, sendo posteriormente ampliada com a inclusão do estado do Mato Grosso do Sul, além do início da operação da Usina Hidrelétrica Estreito.

Em 1969, durante a gestão do presidente Médici, sob a supervisão do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e orientação técnica da Eletrobras, as principais empresas geradoras e distribuidoras do Sudeste formaram o Comitê Coordenador para Operação Interligada (CCOI), visando a coordenação operacional dos sistemas interligados. Ademais, o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) foi formalmente extinto, consolidando a estrutura básica da administração federal dos serviços de energia elétrica. Em 1973, foi criada a *Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.* (Eletronorte), a Eletronorte, empresa holding federal, foi constituída como subsidiária da Eletrobras, sua criação foi marco importante no processo de expansão da Eletrobras que começou a atuar em todo o território nacional, através de quatro subsidiárias de âmbito regional (Brasil, 1972). No mesmo ano, foram criados os Grupos Coordenadores de Operação Interligada (GCOIs), cujo objetivo era o uso racional das instalações de geração e de transmissão dos sistemas interligados das regiões Sudeste e Sul, essa lei reforçou as ações da Eletrobras como coordenadora do planejamento e da operação do sistema Brasileiro (Brasil, 1973).

Em 1974, o presidente Ernesto Geisel, criou a Empresas Nucleares Brasileiras S.A (Nuclebrás), essa empresa foi constituída visando executar atividades na área nuclear, em cooperação com o governo da Alemanha, e teve o objetivo de executar atividades na área nuclear, incluindo pesquisa de minerais físséis, desenvolvimento do ciclo do combustível e construção de usinas nucleoeletricas, contribuindo para impulsionar o aproveitamento da energia nuclear no Brasil (Brasil, 1974). Em 1979, o presidente decretou a *Brazilian Traction, Light and Power Company* (Light). A Light operou por 80 anos, controlando praticamente toda a infraestrutura do eixo Rio de Janeiro-São Paulo, incluindo bondes, luz, telefones e gás, essa medida não foi algo excepcional a estatização representou uma mudança significativa na estrutura de propriedade e operação desses serviços, onde gradativamente a infraestrutura nacional, inicialmente privada, foi se transferindo para o controle do Estado.

Sendo o último presidente do regime militar Brasileiro, João Figueiredo durante o mandato permitiu o Governo do Estado de São Paulo adquirir da Eletrobras o subsistema paulista da Light, criando a Eletricidade de São Paulo S.A (Eletropaulo). Foi em seu governo também, em 1984, que a Usina Hidrelétrica Itaipu, localizada na fronteira entre Brasil e Paraguai, entrou em operação se tornando a época maior hidrelétrica do mundo, com uma capacidade instalada de 12.600 MW. E em 1985, a primeira usina nuclear Brasileira, Angra 1 entrou em operação comercial operando com um reator de água pressurizada, com 640 megawatts de potência (Cordeiro *et al.*, 2023). Desta forma, esses agentes promoveram a criação de estatais no setor, além da busca pelo desenvolvimento da indústria de energia do Brasil.

A redemocratização do Brasil ocorreu com o presidente José Sarney, assumindo, assumindo o lugar de Tancredo Neves, que havia sido eleito, mas faleceu antes de tomar posse. No início de seu governo em 1985, foi estabelecido o Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, uma iniciativa governamental sob coordenação do Ministério de Minas e Energia (MME) e execução a cargo da Eletrobras, destinada a promover a eficiência no uso da energia elétrica e mitigar o desperdício (Brasil, 1985). Em 1988, ocorreu a promulgação da Constituição Federal, ela introduziu mudanças significativas, notadamente a extinção do Imposto Único sobre Energia Elétrica (IUEE) e a determinação da obrigatoriedade de licitações para concessões de serviços de utilidade pública, houve também uma reorganização da Nuclebrás, resultando na criação da Indústrias Nucleares Brasileiras (INB) (Brasil, 1988). Em 1989, a Eletrobras inaugurou o

Centro Nacional de Operação de Sistemas (CNOS), ligado aos núcleos operacionais das principais empresas do setor. Esta integração nacional foi responsável pela união de usinas, reservatórios e linhas de transmissão. No ano subsequente, em 1990, criou-se o *Grupo Tecnológico Operacional da Região Norte* (GTON), órgão responsável pelo apoio às atividades dos Sistemas Isolados da Região Norte e regiões vizinhas, o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica (SINTREL), para viabilizar a competição na geração, distribuição e comercialização de energia. E uma política progressiva de privatizações, essas mudanças foram feitas na Eletrobrás acarretando em diminuições de algumas funções da estatal.

Durante o mandato do presidente Fernando Collor, foram implementadas significativas mudanças no cenário político-administrativo Brasileiro. Em 1990, foi instituído o Programa Nacional de Desestatização (PND). Essa iniciativa representou um marco na política econômica, estabelecendo diretrizes para a privatização de empresas estatais, buscando promover maior eficiência e competitividade no setor público (Brasil, 1990). No ano de 1993, durante o mandato do presidente Itamar Franco, houve a extinção regime de remuneração garantida, essa modificação do sistema tarifário e extinção do regime, essa legislação proporcionou as condições necessárias para o restabelecimento do fluxo de pagamento entre as concessionárias, reconhecendo encargos da União relacionados à tarifa não concedida em exercícios anteriores. Os expressivos débitos das empresas com a União foram liquidadas através de um intrincado processo contábil-financeiro (Brasil, 1993).

O presidente Fernando Henrique Cardoso, promoveu durante o seu mandato uma progressiva política de desestatização do setor energético e econômica aliado com uma estabilização da moeda, buscando controlar a inflação do período (Banco Central do Brasil, 2019), e isso exigiu um aumento na demanda por energia. Em 1995, foi promulgada a Lei Geral das Concessões (Brasil, 1995a), essa legislação definiu a concessão de serviço público como a delegação feita pelo poder concedente, mediante licitação, à pessoa jurídica ou consórcio de empresas capazes de desempenhar o serviço por conta e risco, e por prazo determinado. No mesmo ano, estabeleceu normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos, introduzindo também a opção de compra de energia elétrica pelos consumidores. Além disso, criou o Produtor Independente de Energia (PIE), o Consumidor Livre, e definiu o aproveitamento ótimo, além de regular as outorgas de ativos (Brasil, 1995b). Em 1996, cria a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como anteriormente mencionado com o objetivo de regular o setor elétrico Brasileiro, substituindo o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) (Brasil, 1996, 1997a). Em 1997, foi criada a Eletrobrás Termonuclear S.A (Eletronuclear), a empresa passou a ser responsável pelos projetos das usinas termonucleares Brasileiras, além disso, criou-se o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (Brasil, 1997b). Em 1997, estabeleceu as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, com especial atenção aos direitos dos consumidores (DNAEE, 1997). Ademais, com o programa de privatizações a Eletropaulo foi reestruturada, originando quatro novas empresas. Em 1998, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) foi criado sendo responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) (Brasil, 1998; Brasil, 2004d, 2004a). Paralelamente a isso o Sistema Interligado Nacional (SIN) foi instituído sendo o conjunto de equipamentos e instalações conectados para possibilitar o suprimento de energia no país (ANEEL, 1998), e em 1999, a Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (ASMAE) foi constituída. Nos anos 2000, o presidente Fernando Henrique Cardoso, promoveu a política pública para investimentos em inovação, onde os contratos de concessão determinaram às empresas investir anualmente parte de sua receita operacional líquida em projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados para o setor de energia elétrica (Brasil,

2000). No ano de 2001, determinou o fim da autorregulação mercado atacadista, e no ano subsequente, em 2002, criou o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) (Brasil, 2002a). E também no mesmo ano, o Governo Federal instituiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para promover o uso de fontes alternativas e garantir a universalização do serviço público de energia elétrica.

Nos dois primeiros mandatos do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, diversas iniciativas foram implementadas no setor energético nacional. No ano de 2003, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica ("LUZ PARA TODOS") definiu as bases para a eletrificação rural e a intensificação do ritmo de atendimento, buscando a antecipação da universalização do serviço de energia elétrica (Brasil, 2003). Em 2004, promoveu um novo modelo do setor elétrico transformando o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), e a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) cuja finalidade é a prestação de serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética (Brasil, 2004d). Nesse mesmo contexto, foi estruturado o Novo Modelo do Setor Elétrico, que estabeleceu sob os pilares da universalização da eletricidade, da modicidade tarifária e do planejamento energético de longo prazo e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) para avaliar e acompanhar a continuidade e segurança do suprimento elétrico em todo o país. O primeiro leilão de energia existente, foi realizado em 2004, objetivando a venda de energia proveniente de empreendimentos já existentes, priorizando atender às necessidades das distribuidoras (Brasil, 2004b, 2004c). Além disso a instituiu normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública (Brasil, 2004e). No ano de 2005, ocorreu o primeiro Leilão de Energia de Novos Empreendimentos, marcando um marco significativo sob as bases do Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico. Em 2007, foi instituído o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) pela Lei nº 11.488 (Brasil, 2007b).

No governo da presidente Dilma Rousseff, no ano de 2013, houve a instituição da prorrogação de concessões, transmissão e distribuição de energia elétrica e sobre a redução dos encargos setoriais e a modicidade tarifária (Brasil, 2013). E durante o governo do presidente Michel Temer, em 2018, foi realizado o primeiro Leilão de Privatização como parte do Programa de Parcerias de Investimentos (PPI) do governo federal.

Durante o mandato do presidente Jair Bolsonaro, em 2019, foi promulgada a Lei que tratou sobre a gestão, organização, processo decisório e controle social das agências reguladoras, estabelecendo parâmetros importantes para a regulação do setor (Brasil, 2019). No contexto desafiador da pandemia do coronavírus, em 2020, o Ministério de Minas e Energia e a ANEEL anunciaram a postergação de leilões destinados a atender as futuras necessidades de energia e a expansão dos sistemas de transmissão (Brasil, 2020c), além de estabelecer as bases da Conta-Covid, essa iniciativa buscou aliviar o caixa das distribuidoras de energia durante a pandemia, garantindo a liquidez do setor e proporcionando benefícios ao consumidor ao postergar e parcelar impactos tarifários (Brasil, 2020b, 2020a). Um marco importante durante a gestão do presidente Jair Bolsonaro foi a desestatização da Eletrobras (Brasil, 2021b). E o marco legal da microgeração e minigeração distribuída (MMGD) e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) (Brasil, 2022) capitaneada pelo Ministro de Minas e Energia a época Adolfo Sachsida, proporcionando diretrizes para o início da cobrança da tarifa de uso da rede de distribuição na parcela da energia compensada. A lei também criou o Programa de Energia Renovável

Social (PERS) destinado a financiar instalações de geração fotovoltaica e outras fontes renováveis para consumidores de baixa renda.

2.3. Políticas De Expansão Da Matriz De Energia Renováveis Do Brasil

O histórico do investimento do Brasil em energias renováveis é justificado pela expressiva presença de bacias hidrográficas e meios para a produzir outras fontes alternativas de energia (de Faria *et al.*, 2017; Dutra; Szklo, 2008, 2008). Tais características foram exploradas por leis, decretos, portarias, políticas públicas e diversos outros dispositivos legais, buscando incentivar o aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética Brasileira.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), criado a partir da Lei 10.438 em 2002, teve como objetivo o financiamento para o aumento da participação de fontes renováveis de energia, produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (Brasil, 2002b). A responsabilidade para implementar o programa foi da Eletrobras, e o projeto foi desenvolvido visando aumentar a capacidade energética do país reduzindo a dependência de fontes poluente após a crise energética de 2001 (Aquila *et al.*, 2017; Dutra; Szklo, 2008). O sucesso desse programa para promover a transição energética no Brasil, pode ser percebido pelas 119 instalações realizadas até 31 de dezembro de 2011, que juntas têm capacidade instalada de 2.649,87 MW, compreendendo 963,99 MW em usinas eólicas, 1.152,54 MW em PCHs e 533,34 MW em plantas de biomassa, essa quantidade é suficiente para abastecer 4,5 milhões de Brasileiros anualmente (Eletrobras, 2023).

Para aumentar a oferta interna de energia elétrica, o governo federal instituiu os leilões de energia (Brasil, 2007a). As instituições responsáveis pela coordenação desses projetos, são a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que seguem as diretrizes do Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2004b). Ademais, de maneira excepcional, para atender integralmente à obrigação de suprimento de cem por cento da demanda dos agentes de distribuição, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) poderá, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia, realizar leilões de aquisição de energia proveniente de fontes alternativas, tanto de forma direta quanto indireta. Essa iniciativa poderá ser empreendida independentemente da data de concessão, com o intuito de garantir a adequada oferta de energia para atender às demandas do setor (Brasil, 2007a).

Com os acordos internacionais firmados pelo Brasil de mitigação das mudanças climáticas e o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética, foi instituído em 2009 a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas. Foi definido que para alcançar os objetivos, o Brasil, deveria adotar o compromisso em reduzir suas emissões até 2020, compatibilizando o desenvolvimento econômico e social com a proteção ao sistema climático (Brasil, 2009). Posteriormente, o governo federal instituiu como política o aumento da participação de biocombustíveis sustentáveis para alcançar emissões líquidas neutras até 2050 (BNDES, 2021; MME; EPE, 2007).

Nesse sentido, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) instituída em 2017, objetivou reduzir a emissão de carbono buscando contribuir para a transição energética para uma economia de baixo carbono, visando a descarbonização do setor elétrico (Grassi; Pereira, 2019). As ações, atividades, projetos e programas, buscaram viabilizar oferta de energia cada vez mais sustentável, competitiva e segura, oferecendo

incentivos fiscais, financeiros e creditícios aos produtores e criando um mercado aberto de créditos de redução de carbono (Brasil, 2017).

Ademais, a nova lei para o setor de gás natural, aprovada em abril de 2021 (lei nº 14.134), institui normas, orientações e agências reguladoras nas unidades da federação para a sua exploração (Brasil, 2020b). Essa medida pretende ampliar a concorrência no mercado de gás natural tornando o setor mais eficiente, competitivo e diversificado. Devido ao seu papel de relevância na transição energética, no curto e médio prazo, em virtude de sua competitividade em relação aos combustíveis fósseis, essa lei buscou principalmente aperfeiçoar a arcabouço legal, buscando minimizar a formação de novos monopólios e a redução do poder de mercado de alguns agentes do setor (Brasil, 2021a; Campos *et al.*, 2017; Colomer Ferraro; Hallack, 2012).

O Brasil, também regulamentou microgeração e minigeração distribuída em 2022, com a lei nº 14.300, de 6 de janeiro. A lei define os tipos de modalidade de microgeração ou minigeração que são: autoconsumo local, caracterizado pela distribuição feita junto à carga, participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no qual o excedente de energia elétrica gerado por unidade consumidora de titularidade de um consumidor-gerador, pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela mesma unidade consumidora; (ii) autoconsumo remoto, modalidade caracterizada por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora; (iii) consórcio de consumidores de energia elétrica, caracterizado pela reunião de pessoas físicas e/ou jurídicas consumidoras de energia elétrica instituído para a geração de energia destinada a consumo próprio, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora (Brasil, 2022).

Essas políticas públicas evidenciam que o Estado Brasileiro promoveu ativamente o uso de fontes renováveis de baixo carbono, buscando cumprir os compromissos internacionais firmados para a mitigação de gases do efeito estufa e a descarbonização do setor elétrico Brasileiro. Embora aperfeiçoamentos legislativos ainda sejam necessários para tornar o setor mais eficiente, o investimento em tecnologia, a adoção de dispositivos legais para o combate à lavagem de dinheiro, corrupção, conflito de interesse na construção de usinas elétricas no Brasil sejam necessários (Cordeiro *et al.*, 2023; Faccia, 2023).

2.4. Perspectivas Futuras

O Plano Nacional de Energia para o ano de 2050 (PNE 2050), são os estudos e diretrizes para o desenho de uma estratégia de longo prazo para o setor energético do Brasil, buscando explorar alternativas para o futuro de modo a construir e aprimorar o processo de tomada de decisão em políticas energéticas (MME; EPE, 2020a). O PNE 2050 é delineado como um processo dividido em três partes, na primeira etapa são feitos os desenhos das estratégias conforme apresentado no relatório, em um segundo momento é realizado a implementação da estratégia a ser estabelecida no Plano de Ação, e por fim, o monitoramento dos efeitos e desdobramentos da estratégia adotada, a ser estabelecido em um Plano de Monitoramento das Ações Estratégicas. Ademais, é proposto uma revisão no PNE com intervalo de cinco anos ou sempre que houver necessidades, isso visa alcançar as metas estipuladas, além disso, as revisões extraordinárias ocorreriam sempre que houver alterações no contexto com potencial desdobramento sobre a estratégia de longo prazo do tomador de decisão em um período entre revisões ordinárias (MME, 2020). Dentre as perspectivas de expansão estão descritas 13 recomendações que podem ser concatenadas

em 6 temas principais: Hidrelétricas, Termelétricas, Produção de Petróleo e Gás Natural, Fontes Renováveis não-Hídricas, Eficiência Energética e Direcionamento de recursos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Como demonstrado na seção 2, o Brasil, historicamente investe, utiliza e amplia as usinas hidroelétricas representando sua principal fonte, correspondendo por quase dois terços da capacidade instalada até 2019 (MME; EPE, 2020b). Isso permitiu com que o Brasil tivesse papel de destaque no cenário internacional, possuindo uma das matrizes energéticas com o maior nível de participação de energia renovável do mundo (Grottera *et al.*, 2022; Saccardo *et al.*, 2023). Para manter a participação elevada de fontes de baixo carbono no longo prazo o Brasil irá priorizar geração elétrica com base nas usinas hidrelétricas, buscando aproveitar o potencial hídrico da região norte do país, buscando levar o desenvolvimento socioeconômico com responsabilidade ambiental (MME; EPE, 2020a). Além de construir PCHs nas diversas regiões geográficas do país, visando a integração nacional. Buscar aprimorar regras e ações para modernizar as instalações das usinas hidrelétricas, revendo o manual de inventário e as instruções para os estudos de viabilidade. Melhorar a compreensão social acerca das mudanças climáticas e as usinas hidrelétricas como alternativa para mitigação. Ademais a expansão da integração energética regional na América do Sul por meio das usinas hidrelétricas.

Por sua vez, o governo Brasileiro no tema das termelétricas planeja prosseguir com o programa nuclear Brasileiro, mesmo após a corrupção, lavagem de dinheiro, pagamentos de vantagem indevidas, entre outros crimes cometidos na construção da usina nuclear de Angra III (Cordeiro *et al.*, 2023). O governo planeja aumentar a comunicação com a sociedade Brasileira, especialmente aquelas que possivelmente receberão novos projetos, depósitos de rejeitos, ou áreas de mineração. Ademais, é previsto aprimorar o marco regulatório do setor de energia nuclear, flexibilizando o monopólio da União, reorganização da estrutura setorial e o desenvolvimento de regulamentações específicas buscando analisar os ganhos de economias de escopo associados à Política Nuclear. As perspectivas para o setor também passam por uma padronização dos projetos para ganhos de escala na aprendizagem, a prospecção de novos campos de urânio em todo o território, o estudo para viabilizar a extensão da vida útil das usinas existentes e aprimorar a cultura da segurança nuclear (MME; EPE, 2020b).

Na produção de petróleo e gás natural, o Brasil, pretende manter um horizonte de longo prazo visando a autossuficiência nacional no setor de petróleo. Prospectando novas jazidas de petróleo, priorizando pesquisas que avance no conhecimento científico para a eficiência nas extrações. O PNE 2050 traz também que é pretendido estabelecer estudos para a elevação da produção nacional do gás natural, sob a ótica de estratégia de abastecimento, entre gasodutos oriundos dos países vizinhos e GNL (MME; EPE, 2020b).

As perspectivas adotadas para as fontes Renováveis não-Hídricas é o fomento das usinas biomassa da cana, óleos vegetais e resíduos sólidos urbanos aumentando a diversificação dos produtores de etanol. Aumentar a atratividade dos biocombustíveis em segmentos de transportes com maior dificuldade de descarbonização, aumentar a publicidade do cumprimento da legislação e proteção do meio ambiente na cadeia produtiva dos biocombustíveis. Seguindo a tendência mundial, o Brasil, também pretende aumentar a participação da energia fotovoltaica, prospectando novas instalações e no país (IRENA, 2017, 2020). Incorporar melhorias de estudos relativos a fontes solar e seus impactos econômicos e sociais para as regiões. Articular com os agentes de diferentes órgãos governamentais e setoriais para endereçar a regulação relativa à reciclagem dos componentes do sistema fotovoltaico (MME; EPE, 2020b). Por fim, para a energia eólica pretende-se implementar aprimoramentos nos estudos socioambientais realizando projetos eólicos, considerando a crescente complexidade derivada de efeitos cumulativos.

Estabelecer parcerias com diversos órgãos governamentais e setoriais para superar desafios logísticos relacionados ao transporte de equipamentos eólicos. Coordenar esforços com diferentes atores governamentais e setoriais para resolver as limitações da capacidade portuária a fim de viabilizar a expansão da energia eólica offshore. Aperfeiçoar o marco regulatório vigente com o intuito de aprimorar as condições propícias ao desenvolvimento e ao investimento em projetos eólicos offshore (MME; EPE, 2020b). Por fim, relativo à eficiência energética, o Brasil pretende investir em Pesquisa e Desenvolvimento nos temas de temas bioenergia, eficiência energética e energias renováveis.

2.5. Conclusões

Este artigo evidenciou o histórico completo e a evolução geral das leis e avanços do setor de energia do Brasil desde seu início em 1879 através da permissão do imperador Brasileiro Dom Pedro II até os dias atuais. Ademais foi apresentado de forma detalhada as políticas públicas adotadas pelos sucessivos governos para expansão das energias renováveis. Além disso, é discutido e apresentado as perspectivas futuras para a matriz energética Brasileira, com o Plano Nacional de Energia para o ano de 2050. A trajetória histórica do Brasil consolidado por meio de diversos instrumentos legais, incluindo leis, decretos, portarias e políticas públicas, que objetivaram consolidar o aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética Brasileira.

Uma das políticas públicas de maior relevância, no contexto Brasileiro, foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia. Diretamente responsável por impulsionar a construção de parques eólicos, pequenas centrais hidrelétricas e usinas biomassa, o programa instalou na rede energia suficiente para atender 4,5 milhões de Brasileiros anualmente. Com o objetivo de financiar empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, foi responsável por incorporar 2.649,87 MW a matriz energética Brasileira, contribuindo para a diversificação da do setor elétrico Brasileiro e a descarbonização da energia, através das usinas eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e usinas de biomassas.

Quanto às perspectivas futuras definidas no Plano Nacional de Energia para o ano de 2050, o Brasil reforça seu comprometimento com uma estratégia de longo prazo para o setor energético, ampliando a matriz energética existente, e o aprimoramento legislativo para alcançar a metas definidas. O plano abrange 13 recomendações agrupadas em seis temas principais, destacando a continuidade do papel das hidrelétricas, a expansão do programa nuclear, o aumento da produção de petróleo e gás natural, e o fomento às fontes renováveis não-hídricas e eólicas, além de diversificar a matriz e proporcionar uma maior segurança energética.

Essas metas estipuladas refletem a intenção de manter o Brasil na vanguarda na utilização das energias renováveis em sua matriz energética. Buscando também por autossuficiência no setor de petróleo, a prospecção de novas fontes de energia e jazidas de urânio, além de aprimoramentos nos estudos socioambientais para fontes eólicas que demonstram uma abordagem estratégica e abrangente para garantir a sustentabilidade do setor energético Brasileiro. Embora muitos avanços tenham sido alcançados, o caminho para a eficiência plena demandará esforços contínuos em regulamentação, inovação tecnológica e consolidação das práticas sustentáveis no âmbito energético.

Referências

- ANEEL, Agência Nacional De Energia Elétrica. RESOLUÇÃO Nº 351, DE 11 DE NOVEMBRO DE 1998. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/res1998351.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- AMANN, Edmund; AZZONI, Carlos; BAER, Werner. *The Oxford Handbook of the Brazilian Economy*. [S. l.]: Oxford University Press, 2018.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. *Caminhos do Setor Elétrico Brasileiro*, 2023. Disponível em: <https://caminhosregulacao.aneel.gov.br/caminhos3.asp>. Acesso em: 9 jan. 2024.
- AQUILA, Giancarlo *et al.* An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 70, p. 1090–1098, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310759>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Ajuste das contas públicas e transparência na comunicação explicam sucesso do Plano Real. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://aprendervalor.bcb.gov.br/detalhenoticia/358/noticia>. Acesso em: 19 maio 2023.
- BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Painel NDC - nossa contribuição para as metas de redução de emissões do Brasil. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/desenvolvimento-sustentavel/resultados/emissoes-evitadas>. Acesso em: 5 jan. 2024.
- BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. [S. l.], 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BRASIL. DECRETO N. 23.501 – DE 27 DE NOVEMBRO DE 1933. [S. l.], 1933. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/444930/publicacao/15696423>. Acesso em: 9 jan. 2024.
- BRASIL. DECRETO Nº 2.335, DE 6 DE OUTUBRO DE 1997. [S. l.], 1997a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.HTM. Acesso em: 10 out. 2023.
- BRASIL. DECRETO Nº 4.873, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003. [S. l.], 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4873.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BRASIL. DECRETO Nº 5.081, DE 14 DE MAIO DE 2004. [S. l.], 2004a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5081.htm. Acesso em: 10 out. 2023.
- BRASIL. DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004. [S. l.], 2004b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM. Acesso em: 10 out. 2023.
- BRASIL. DECRETO Nº 5.271, DE 16 DE NOVEMBRO DE 2004. [S. l.], 2004c. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-5271-16-novembro-2004-534731-publicacaooriginal-20797-pe.html>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BRASIL. Decreto nº 5.407, de 27 de Dezembro de 1904. [S. l.], 1904. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1900-1909/decreto-5407-27-dezembro-1904-527509-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 9 jan. 2024.
- BRASIL. DECRETO Nº 6.048, DE 27 DE FEVEREIRO DE 2007. [S. l.], 2007a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6048.htm. Acesso em: 11 jan. 2024.
- BRASIL. DECRETO Nº 10.350, DE 18 DE MAIO DE 2020. [S. l.], 2020a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10350.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. Decreto nº 23.979, de 8 de Março de 1934. [S. I.], 1934. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-23979-8-marco-1934-499088-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 17 maio 2023.

BRASIL. DECRETO No 41.019, DE 26 DE FEVEREIRO DE 1957. [S. I.], 1957. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d41019.htm. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. DECRETO Nº 64.395, DE 23 DE ABRIL DE 1969. [S. I.], 1969. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D64395.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. DECRETO Nº 75.468, DE 11 DE MARÇO DE 1975. [S. I.], 1975. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Atos/decretos/1975/D75468.html. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. DECRETO-LEI Nº 1.285, DE 18 DE MAIO DE 1939. [S. I.], 1939. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-1285-18-maio-1939-349181-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. DECRETO-LEI Nº 8.031, DE 3 DE OUTUBRO DE 1945. [S. I.], 1945. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del8031.htm. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. DECRETO-LEI Nº 852, DE 11 DE NOVEMBRO DE 1938. [S. I.], 1938. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del0852.htm. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI No 6.189, DE 16 DE DEZEMBRO DE 1974. [S. I.], 1974. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6189compilada.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 1.145, DE 31 DE DEZEMBRO DE 1903. [S. I.], 1903. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1900-1909/lei-1145-31-dezembro-1903-775726-publicacaooriginal-139481-pl.html>. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 1.628, DE 20 DE JUNHO DE 1952. [S. I.], 1952. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1950-1959/lei-1628-20-junho-1952-361532-normaatualizada-pl.html>. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI No 2.308, DE 31 DE AGOSTO DE 1954. [S. I.], 1954. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/l2308.htm. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 2.740, DE 2 DE MARÇO DE 1956. [S. I.], 1956. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1950-1959/lei-2740-2-marco-1956-360952-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 3.890-A, DE 25 DE ABRIL DE 1961. [S. I.], 1961. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l3890acons.htm. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI No 4.454, DE 6 DE NOVEMBRO DE 1964. [S. I.], 1964. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/l4454.htm. Acesso em: 9 jan. 2024.

BRASIL. LEI No 4.904, DE 17 DE DEZEMBRO DE 1965. [S. I.], 1965. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L4904.htm. Acesso em: 19 maio 2023.

BRASIL. LEI Nº 5.824, DE 14 DE NOVEMBRO DE 1972. [S. I.], 1972. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5824.htm#. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 5.899, DE 5 DE JULHO DE 1973. [S. I.], 1973. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5899.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 8.031, DE 12 DE ABRIL DE 1990. [S. I.], 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8031.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 8.631, DE 4 DE MARÇO DE 1993. [S. I.], 1993. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8631.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 8.987, DE 13 DE FEVEREIRO DE 1995. [S. I.], 1995a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987compilada.htm. Acesso em: 29 set. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.074, DE 7 DE JULHO DE 1995. [S. I.], 1995b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em: 29 set. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996. [S. l.], 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm. Acesso em: 15 set. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.478, DE 6 DE AGOSTO DE 1997. [S. l.], 1997b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 3 nov. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.648, DE 27 DE MAIO DE 1998. [S. l.], 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9648cons.htm. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000. [S. l.], 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9991.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 10.433, DE 24 DE ABRIL DE 2002. [S. l.], 2002a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10433.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002. [S. l.], 2002b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm. Acesso em: 4 nov. 2023.

BRASIL. LEI Nº 10.848, DE 15 DE MARÇO DE 2004. [S. l.], 2004d. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm#art29. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. LEI Nº 11.079, DE 30 DE DEZEMBRO DE 2004. [S. l.], 2004e. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L11079.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 11.488, DE 15 DE JUNHO DE 2007. [S. l.], 2007b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm. Acesso em: 3 nov. 2023.

BRASIL. LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009. [S. l.], 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 11 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 12.783, DE 11 DE JANEIRO DE 2013. [S. l.], 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12783.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017. [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: 11 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 13.848, DE 25 DE JUNHO DE 2019. [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13848.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 14.134, DE 8 DE ABRIL DE 2021. [S. l.], 2021a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Lei/L14134.htm. Acesso em: 11 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 14.182, DE 12 DE JULHO DE 2021. [S. l.], 2021b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Lei/L14182.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 3 nov. 2023.

BRASIL. MEDIDA PROVISÓRIA Nº 950, DE 8 DE ABRIL DE 2020. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou>. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. PORTARIA Nº 134 DE 30 DE MARÇO DE 2020. [S. l.], 2020c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Portaria/PRT/Portaria-134-20-ME.htm. Acesso em: 10 jan. 2024.

CAMPOS, Adriana Fiorotti *et al.* A review of Brazilian natural gas industry: Challenges and strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 75, p. 1207–1216, 2017.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307730>. Acesso em: 11 jan. 2024.

COLOMER FERRARO, Marcelo; HALLACK, Michelle. The development of the natural gas transportation network in Brazil: Recent changes to the gas law and its role in co-ordinating new investments. *Energy Policy*, [s. l.], v. 50, Special Section: Past and Prospective Energy Transitions - Insights from History, p. 601–612, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512006581>. Acesso em: 11 jan. 2024.

CORDEIRO, Mikael Jhordan Lacerda *et al.* Nuclear energy in Brazil: regulation, corruption, and prospects for energy generation. *The Journal of World Energy Law & Business*, [s. l.], p. jwad027, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwad027>. Acesso em: 14 out. 2023.

DE FARIA, Felipe A. M. *et al.* The local socio-economic impacts of large hydropower plant development in a developing country. *Energy Economics*, [s. l.], v. 67, p. 533–544, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014098831730292X>. Acesso em: 4 dez. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DNAEE, PORTARIA Nº 466, DE 12 DE NOVEMBRO DE 1997. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1997466.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 65–76, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107000286>. Acesso em: 5 jan. 2024.

ELETROBRAS. Proinfa. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://eletrobras.com/en/Paginas/Proinfa.aspx>. Acesso em: 8 out. 2023.

FACCIA, Alessio. Self-assessment toolkit for energy anti-money laundering: unveiling key lessons from high-profile case studies. *The Journal of World Energy Law & Business*, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 387–413, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwad013>. Acesso em: 11 jan. 2024.

GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 129, p. 201–205, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669018310586>. Acesso em: 11 jan. 2024.

GROTTERA, Carolina *et al.* Energy policy implications of carbon pricing scenarios for the Brazilian NDC implementation. *Energy Policy*, [s. l.], v. 160, p. 112664, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521005292>. Acesso em: 11 jan. 2024.

IRENA, International Renewable Energy Agency. Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf.

IRENA, International Renewable Energy Agency. Renewable capacity highlights (31 March 2020). [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf?la=en&hash=B6BDF8C3306D271327729B9F9C9AF5F1274FE30B.

LAZARO, L. L. B. *et al.* Energy transition in Brazil: Is there a role for multilevel governance in a centralized energy regime?. *Energy Research & Social Science*, [s. l.], v. 85, p. 102404,

2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621004916>. Acesso em: 5 jan. 2024.

LIMA, M. A. *et al.* Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Environmental Development*, [s. l.], v. 33, p. 100504, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464520300191>. Acesso em: 14 jan. 2024.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. PORTARIA NO 6, DE 7 DE JANEIRO DE 2020. [S. l.: s. n.], [s. d.].

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. [S. l.], 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Hidrel%C3%A9trica.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. [s. l.], 2020a.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. [s. l.], 2020b.

PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 1877 DE 30 DE DEZEMBRO DE 1985. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel/portaria_1877_1985.pdf. Acesso em: 10 jan. 2024.

ROMAGNOLI, Luiz Henrique *et al.* Linha do Tempo. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://memoriadaeletricidade.com.br/linha-do-tempo/@id/84596/chapter/20>. Acesso em: 14 jan. 2024.

SACCARDO, Ronaldo Ricardo *et al.* Investment in photovoltaic energy: An attempt to frame Brazil within the 2030 passage target of the Paris agreement. *Cleaner Energy Systems*, [s. l.], v. 5, p. 100070, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772783123000201>. Acesso em: 11 jan. 2024.

SULZBERGER, Carl. First Edison Lights at Sea: The SS Columbia Story, 1880-1907 [History]. *IEEE Power and Energy Magazine*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 92–101, 2015. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6998977?casa_token=RmHm_hw5ddQAAAAA:Sqve4ATvJxY3apQHRuU4CZjD34NncHeHwMy7D9KjWL97EmdQbPKIJOecspb_55MV2PV DdCzcqSV8gBw. Acesso em: 14 jan. 2024.

3. Uma Análise Bibliométrica Sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas: Principais Tendências, Lacunas E Desafios para Futuras Investigações

Resumo

A relação entre autoprodução de energia elétrica e o crescimento econômico é um tema importante na literatura de desenvolvimento econômico. Nas últimas décadas, diferentes processos de descarbonização do setor de geração de energia elétrica se tornaram mais acelerados, devido a urgência na agenda de mitigação das mudanças climáticas. Este artigo propõe uma análise bibliométrica da literatura sobre as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). Ao sistematizar os resultados da literatura sobre PCHs, a pesquisa revelou um crescimento constante no número de publicações em diferentes áreas de pesquisa. A análise utilizou a base de dados *Web of Science* e o software VOSViewer e Sci². Do total dos artigos analisados, destaca-se os artigos revisados por pares e *conference papers*, os quais compõem 58.03% e 33.72%, respectivamente. A amostra distribui-se entre 1945 até 03 de agosto de 2023. Este trabalho visa orientar futuros pesquisadores e formuladores de políticas públicas, apresentando os *hotspots*, fronteiras e tendências emergentes sobre o tema.

Palavras-chaves: Consumo de energia, energias renováveis, Pequenas Centrais Hidrelétricas, Análise bibliométrica.

3.1. Introdução

O debate sobre as mudanças climáticas e sua conexão com o uso de recursos fósseis para a geração de energia é um tema central na atualidade (Saidi; Omri, 2020). Nesse contexto, os países têm procurado fontes alternativas de produção de energia, buscando minimizar a emissão de dióxido de carbono e garantir um desenvolvimento sustentável do setor energético (Nathaniel *et al.*, 2021; Nathaniel; Adeleye, 2021). Uma dessas alternativas é a utilização de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), amplamente utilizada por vários países como uma aliada na transição energética. Sendo considerada uma fonte renovável e não emissora de gás carbônico, estando em consonância para a diminuição da dependência energética de recursos como carvão e petróleo, promovendo o aumento do uso de fontes modernas de energia, como indicado pelo Objetivo Nº 7 das Nações Unidas (Couto; Olden, 2018; UN, 2023)

No entanto, e até o momento, não foi identificada uma vasta adoção global de PCH, tendo grande parte de seu potencial ainda inexplorado. A produção de energia por essa fonte é de aproximadamente 1,5% da capacidade instalada de fontes hidroelétricas, sendo que somente a China é responsável por 54% da capacidade total de PCHs instalada em todo o mundo, considerando usinas de até 10 MW. Além disso, o país abriga aproximadamente 28% do potencial total de PCHs em todo o mundo. Comparativamente, a capacidade instalada de PCHs na China é mais de quatro vezes maior do que a capacidade instalada combinada de países como Itália, Japão, Noruega e Estados Unidos da América (EUA) combinado (United Nations Industrial Development Organization, 2019).

Diante dessa tendência, o estudo acerca das pequenas centrais hidrelétricas se torna importante em termos de formulação de políticas e decisões tecnológicas à transição energética. Este artigo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica dos estudos realizados sobre PCHs. Dessa forma, busca-se compreender este campo de exploração técnico e científico, fornecendo um quadro conceitual e contextual para a literatura existente. Propomos também analisar as áreas temáticas mais desenvolvidas e identificar possíveis linhas de investigação futura. Foi utilizada a base de *dados Web of Science* e os softwares *VOSViewer* e *SCI²* para a geração de mapas de visualização e análises de cluster. A amostra obtida consiste em 1394 documentos, em que 58.03% são artigos revisados por pares e 33.72% são *conference papers*. A amostra cobre o período de 1945 a 2023 e seu crescimento anual é de 38,24%.

Além dessa Introdução, este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a perspectiva teórica da pesquisa; a seção 3 descreve a metodologia; a seção 4 discute os resultados e a seção 5 as conclusões, implicações e caminhos de pesquisa futura.

3.2. Contextualização teórica sobre as pequenas centrais hidrelétricas

A energia hidrelétrica é uma das principais fontes utilizadas atualmente, essas usinas foram responsáveis por cerca de 17% da geração global de eletricidade. Além disso, a energia hidroelétrica é uma grande aliada na descarbonização do setor elétrico mundial (IEA, 2021b). Dentro das fontes de energia hidroelétrica, destacam-se Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), as Usinas Hidrelétricas de Grande Porte (GCHs) e as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

Nesse contexto, as PCHs surgem como uma opção viável e sustentável para a produção de energia principalmente para abastecer pequenas cidades e áreas rurais. Dessa forma, nessa seção serão definidos as características e configurações básicas das PCHs, bem como sua importância na matriz energética mundial.

3.2.1. Definições básicas de uma pequena central hidrelétrica

De modo geral, a caracterização de uma PCH é feita com o limite superior da sua capacidade de geração de energia. Esse limite é determinado pela regulação particular de cada país, podendo variar de 2,5 MW a 50 MW. Destaca-se que a capacidade de geração até o valor de 10 MW é comumente aceito dentre os países (Ardizzon et al., 2014; Couto & Olden, 2018; United Nations Industrial Development Organization, 2019).

Apesar de existirem diferentes modelos de PCHs. De modo geral, produz-se energia através da pressão que a água faz nas pás das turbinas hidráulicas, criando um movimento rotativo que aciona o gerador elétrico. Assim a energia mecânica se converte em energia elétrica por meio de hidroturbinas (Paish, 2002). A construção das PCHs pode ser feita por três formas:

(i) Represamento: Refere-se a um sistema hidrelétrico que se utiliza do mecanismo de barragem para realizar o armazenar a água do rio em uma grade reservatório. A água dessa barragem então é então usada para gerar eletricidade.

(ii) Desvio: Constrói-se um de desvio na margem do rio para canaliza uma parte da água criando assim um canal ou conduzido por um conduto forçado. Destaca-se que esse tipo de sistema não necessita do armazenamento por represamento.

(iii) Fio d'água: Esse sistema utiliza-se de um pequeno represamento do rio, não sendo possível assim controlar sua vazão, ou seja, operando dentro da faixa padrão de vazão natural do rio (ANEEL, 2020; Ferreira et al., 2016; Hudson Inacio Ferreira; Roberto Camacho; Almansa Malagoli, 2016; Paish, 2002).

Ademais, os custos em se construir esses empreendimentos variam entre os países. Para o Brasil, considerando valores entre os anos de 2016 e 2020, o custo de instalação do projeto é de aproximadamente US\$ 2.291/kW. Os custos totais instalados de pequenas hidrelétricas na Índia foram em média de US\$ 1.817/kW no período 2016 a 2020. Já o custo médio ponderado instalado para pequenas hidrelétricas na China foi de US\$ 1.171/kW no período de 2010 a 2015. Para projetos na Oceania o custo é de US\$ 3.364/kW no período de 2010 a 2015, enquanto na América Central e Caribe foi de US\$ 2.926/kW e, por fim, na América do Sul, o custo de instalação esteve em média US\$ 2.810/kW para o mesmo período (United Nations Industrial Development Organization, 2019; IRENA, 2020)

Após o projeto concluído, a manutenção é fundamental para garantir o desempenho e operação adequada. Isso inclui a inspeção e limpeza das turbinas e demais componentes, a realização de reparos ou substituições quando necessário, além de rebobinamento de geradores e reinvestimentos em sistemas de comunicação e controle. Os custos de operação e manutenção (O&M) são geralmente cotados como uma porcentagem do custo de investimento por kW por ano, com valores típicos variando de 1% a 4%, no entanto esses custos não levam em conta grandes reformas nas usinas como do equipamento eletromecânico, ou a reformas de condutos forçados, canais de fuga, sendo consideradas pouco frequentes na O&M de uma PCH. Estima-se que os equipamentos possuam vida média de 30 anos, enquanto condutos forçados e pista de fuga 50 anos. Dessa forma, o investimento inicial é amortizado até o possível início do período dessas manutenções (IRENA, 2020).

É importante destacar que a expansão dessa fonte de energia depende do acesso ao financiamento. Isso pode representar uma barreira de entrada para a expansão de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Em sua grande maioria, as diretrizes internas praticadas para a solicitação de capital inicial para investimento são baseadas em empréstimos garantidos. Entretanto, a busca pelo fomento da expansão das PCHs fez com que alguns bancos

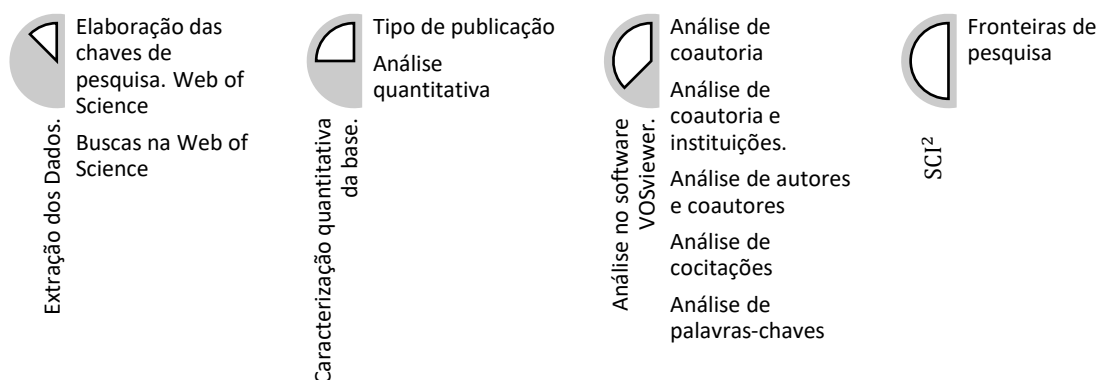
internacionais e locais desenvolvessem mecanismos de cooperação para apoiar projetos de PCH diminuindo os riscos atrelados a disponibilidade de crédito.

3.3. Metodologia de Pesquisa

Nesta seção, são expostos os principais procedimentos para a realização da análise bibliométrica, a Figura 1 sintetiza o processo utilizado neste estudo. A bibliometria é um instrumento útil para observar e quantificar o progresso acadêmica de uma área de pesquisa (Tsay, 2008). Com essa ferramenta conseguimos: (i) extrair indicadores importante para as observar linhas de pesquisas abordadas ao longo do tempo; (ii) Identificar tendências futuras de pesquisas em determinados áreas; (iii) Observar a colaboração de pesquisadores, universidades e países; (iv) Mapear a estrutura do domínio intelectual observando lacunas para pesquisas futuras; (v) Apoiar a revisão de literatura para determinado tema de pesquisa, entre outras possibilidades de utilização deste método (Zhou *et al.*, 2007; Zhang; Xie; Ho, 2009; Beerkens, 2013; Marco-Lajara *et al.*, 2023; Garfield, 1979; Donthu *et al.*, 2021)

Desta forma, essa abordagem busca extrair resultados quantitativos, qualitativos e gráficos para mensurar a literatura a respeito das pequenas centrais hidrelétricas. Há diversos softwares empregados para realizar esta tarefa, alguns exemplos são: VOSviewer, CiteSpace, Histcity e Bibexcel (Donthu *et al.*, 2021; Hu *et al.*, 2022). Para este estudo, o software empregado é o VOSViewer, baseado em uma linguagem de programação Java, ele permitirá a análise de mapas baseado nas métricas e restrições aplicadas (Eck; Waltman, 2009). A evolução deste estudo é baseada em três etapas, conforme O desenvolvimento desta bibliometria será dividido em três etapas, conforme exibido na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa



Nota: Metodologia utilizada para este estudo. Fonte: Criado pelos autores.

No primeiro momento, foram definidas as palavras-chaves para obter os resultados dos artigos analisados neste estudo. Posteriormente, é estratificada a amostra coletada analisando sua distribuição e qual a classificação destes periódicos. Por fim, os dados são inseridos no software VOSViewer, para analisar coautoria, cocitação, citação, co-ocorrência, acoplamento bibliográfico. Ademais, é realizado a análise dos cluster baseado nos resultados obtidos de cada método, assim uma visão ampla de diferentes estudos podem ser analisados (Santos *et al.*, 2020).

3.4. Resultados

Nesta seção, é apresentado os resultados da análise utilizando o método da bibliometria. As seguintes palavras foram utilizadas para buscar em títulos, resumos e palavras-chave no banco de dados da *Web of Science*: "Small Hydropower Plan*" OR "Small Hydropower" OR "Small Hydro Power")¹ (Donthu *et al.*, 2021; Hu *et al.*, 2022). A busca foi feita compreendendo o período de 01 de janeiro de 1945 até 03 de agosto de 2023. A Tabela 1, evidencia os tipos de documentos que compõe a base que será estudada. Os resultados estão divididos da seguinte forma: Análise de coautoria analisando os principais países e regiões, as instituições e os autores e coautores que estudam sobre o tema; Análise de Cocitações analisando os periódicos e os principais autores; Análise de citação estudando os principais documentos, pesquisas, autores, organizações e países que contribuíram para a literatura; Por fim, é feito a análise de palavras-chaves observando a co-ocorrência delas, desta forma busca-se extrair um resumo do que foi feito na literatura abordando as principais palavras que compões a literatura de pequenas centrais hidrelétricas.

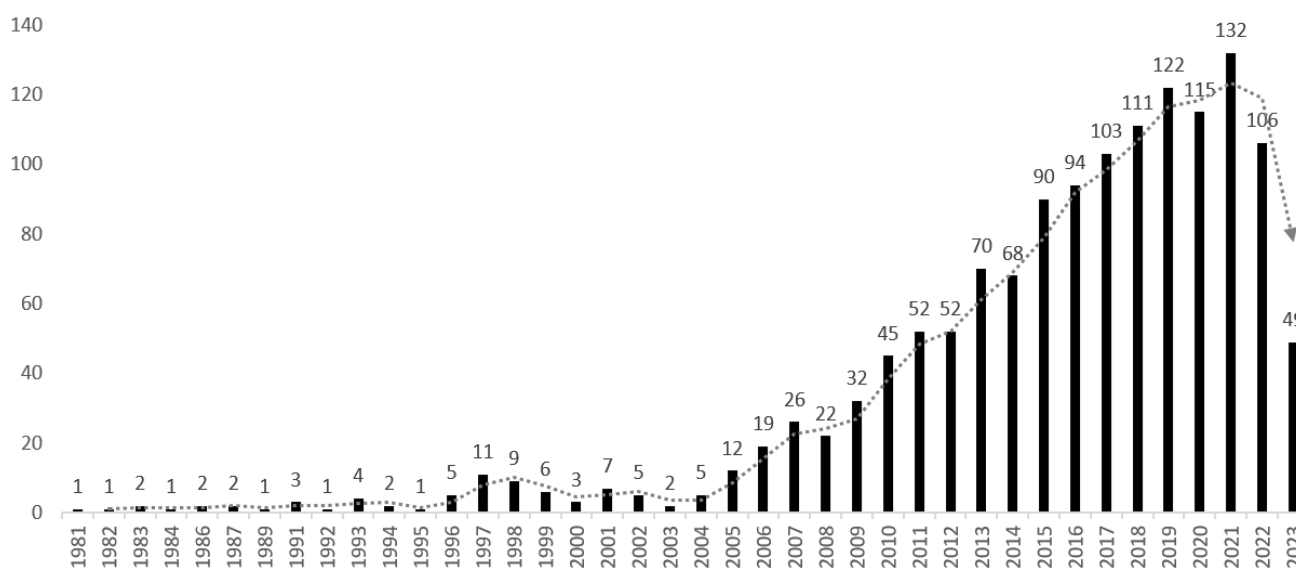
Tabela 1 – Tipos de documentos

Tipos de documento	Contagem do registro	% de 1.394
Artigo	809	58,03%
Artigo de conferência	470	33,72%
Artigo de revisão	118	8,46%
Material editorial	24	1,72%
Acesso antecipado	11	0,79%
Crítica literária	3	0,22%
Carta	3	0,22%
Resumo da reunião	2	0,14%
Nota	2	0,14%
Artigo de dados	1	0,07%
Discussão	1	0,07%
Item de notícias	1	0,07%
Total	1445	100%

Notas: A pesquisa identificou validou 1,394 das 1,445 publicações selecionadas da Coleção principal da Web of Science, tabela extraída da Web of Science

¹ O símbolo * é utilizado para que o buscador também indexe nas buscas a derivada da palavra. Exemplo: Quando ela está no plural, singular o no gerúndio.

Figura 2 – Quantidade de publicação por ano



Nota: Esta figura demonstra a distribuição da base de dados ao longo dos anos. O (*) representa que a quantidade obtida se limita a agosto de 2023, período desta pesquisa. A área pontilhada é a média móvel de dois períodos. Tabela preparada pelos autores usando os dados da plataforma indexadora Web of Science index.

Um total de 1394 publicações foram feitas de 1981 até 2023 relacionadas as pequenas centrais hidrelétricas de acordo com a base indexadora *Web of Science*. Estes documentos estão distribuídos em artigos, artigos de conferência, artigos de revisão, material editorial, artigos de acesso antecipado, crítica literária, carta, resumo de reunião, nota, artigo de dados, discussão e item de notícias. No período de 1981 a 2022 o crescimento médio da taxa de publicação é de 38,24%. Na figura 2 é possível visualizar que houve um aumento no interesse sobre o tema a partir de 2005 totalizando 12 publicações, tendo um pico de pesquisa em 2021 com 132 publicações, apesar disso em 2014 e 2020 houve uma ligeira queda em relação ao ano anterior. A amostra é composta por 58,03% por artigos revisados por pares e 33,03% de *conference papers*. A taxa de crescimento anual deste campo de exploração técnico e científico é de em média de aproximadamente de 25%.

3.4.1. Análise de coautoria

A análise de coautoria se refere à colaboração entre dois ou mais autores colaboradores de um mesmo estudo. Desta forma, é possível analisar e compreender a rede e as relações entre esses pesquisadores, podendo observar padrões de cooperação. Assim, aplicando o filtro de coautoria, é possível investigar as iterações entre países, instituições e autores, podendo mensurar o nível de colaboração intelectual entre esses agentes (Acedo *et al.*, 2006; Cisneros *et al.*, 2018; Donthu *et al.*, 2021). Ademais, com esta análise é possível captar o nível de interconexão destes autores no tema analisado (van Eck; Waltman, 2018).

A compreensão destas iterações é importante, haja vista que, essa rede de cooperação maximiza o tempo de pesquisa, tornado mais eficiente a propagação do conhecimento científico sobre o tema (Tahamtan; Safipour Afshar; Ahamdzadeh, 2016). Desta forma, ao se entender como esses atores se interagem é possível mapear ao longo do tempo o desenvolvimento e comunicação intelectual da área pesquisada.

3.4.1.1 Países e regiões

A mensuração da contribuição de diferentes países e regiões pode ser feita através do endereço e afiliação dos autores que realizaram a publicação. Desta maneira, esta seção analisa a coautoria de diferentes países em publicações, possibilitando assim a visualização da rede de colaboração internacional acerca das pesquisas sobre pequenas centrais hidrelétricas. Ao observar os resultados temos *insights* sobre a propagação global do conhecimento científico e a cooperação interacional sobre o tema. O resultado é obtido através da informação de endereço dos autores listados nos artigos publicados, isso permite mensurar o poder acadêmico e de pesquisa de cada país.

Os 10 países produtivos mais produtivos na literatura de pequenas centrais hidrelétricas são classificados da seguinte forma: O número total de publicações a respeito do tema, o número total de citações e a média de citações por documento. A Tabela 2 elenca esse resultado. Entretanto, há uma limitação metodologia que é necessário ressaltar acerca do processo de contabilização dos documentos. Como o algoritmo leva em consideração a origem de cada autor, desta forma, pode haver uma contagem dupla e a priori isso não pode ser mitigado (van Eck; Waltman, 2018).

Os resultados evidenciam que dentre os 10 principais países, há dois países da Ásia, um da América do Norte, um da América do Sul, seis da Europa². A China é o país maior número de documentos publicados, entretanto vale ressaltar que a Índia possui uma total citação maior. Índia e Estados Unidos da América (USA) ocupam o segundo e terceiro lugar, respectivamente. Nota-se que os três primeiros colocados detém 51,03% da concentração de publicações sobre o tema. No entanto, vale destacar que países como Itália e Espanha possuem uma quantidade alta de citações.

Tabela 2 – Os 10 principais países na literatura sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	País	Documentos	TC	MDC
1	China	163	1572	9,64
2	India	93	1681	18,08
3	USA	65	1401	21,55
4	Brazil	55	577	10,49
5	Poland	54	428	7,93
6	Germany	46	464	10,09
7	Romania	46	128	2,78
8	Italy	38	1160	30,53
9	Spain	38	1382	36,37
10	Turkey	31	733	23,65

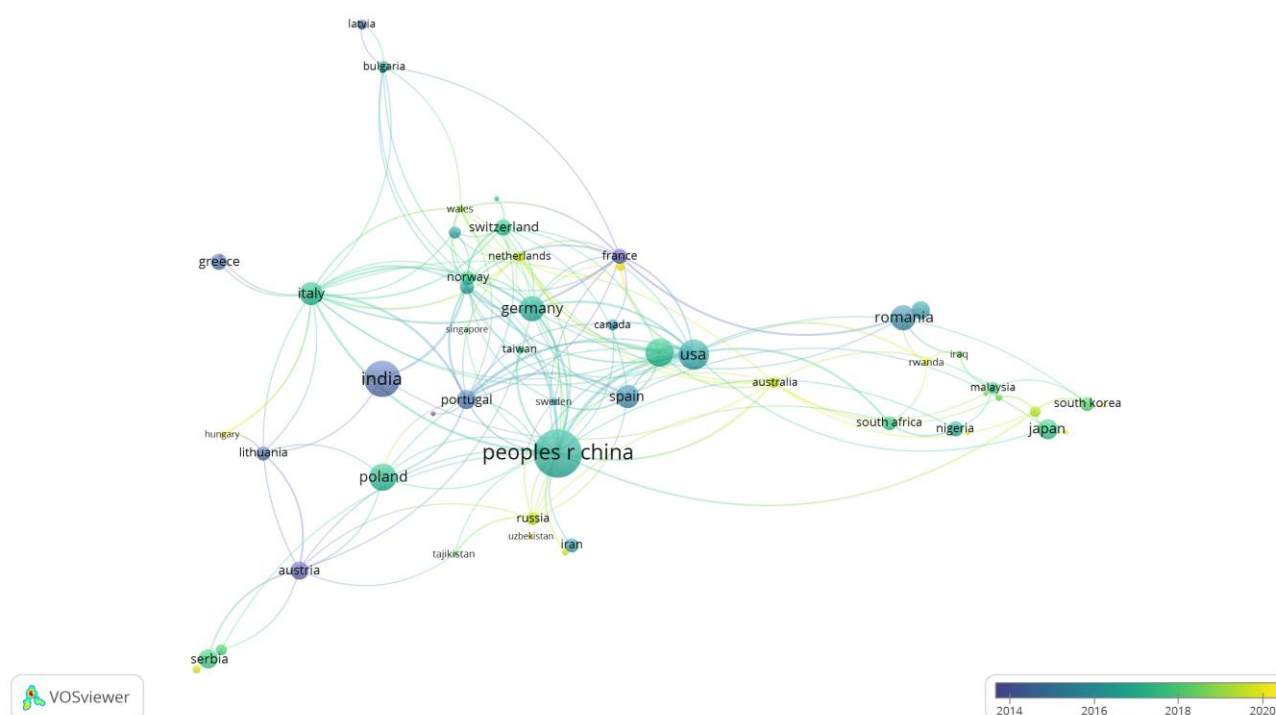
Notas: A tabela elenca os resultados do número de documentos com o filtro de coautoria para países. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por país igual a 1 e o mínimo de citações por país igual a 5. TC: Total de Citação; MDC: Média de citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Figura 3 apresenta o gráfico da rede de cooperação de países com o *overlay* temporal. Portanto, o mapa apresenta múltiplos círculos com diferentes tamanhos, isso é

² A Turquia foi classificada neste estudo com país pertencente a Europa. <https://turkiye.un.org/en/about/about-the-un>

determinado de acordo com o peso dos artigos, neste caso, a quantidade de publicações realizadas. Desta forma, seu tamanho indica a quantidade de documentos produzidos e a escala das cores nos círculos indica o ano médio de publicação. Assim, o período médio de publicação é mais recente quanto mais próximo das tonalidades amarelo. Conquanto, quanto mais próximo da cor roxa mais antigo é o tempo médio de publicação.

Figura 3 – Redes de cooperação entre países/regiões na literatura sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas



Notas: A figura elenca os resultados do número de documentos com o filtro de coautoria para países com o gráfico de sobreposição. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por país igual a 1 e o mínimo de citações por país igual a 5. A escala de cores é feita com o peso da média do tempo das publicações do país. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

Países como Grécia, Áustria, Lituânia, França e Índia, possuem uma literatura relacionada as pequenas centrais hidrelétricas mais antiga. Por outro lado, Países Baixos, Austrália, Rússia e Paquistão possuem literaturas mais recentes nesse campo de pesquisa. A China, Brasil, Itália Alemanha entre outros países possuem uma literatura orbitando a volta de 2018, como mostra a Figura 3.

3.4.1.2 Instituições

A compreensão da coautoria de instituições contribui para uma melhor percepção da disseminação do conhecimento científico e da interligação das universidades. A Tabela 3 mostra as 10 instituições mais relevantes na pesquisa sobre pequenas centrais hidrelétricas. Os resultados na tabela são apresentados da seguinte forma: O nome da instituição, o país de origem, o número de documentos publicados e o total de citação. Sendo assim, é possível visualizar as organizações que possuem a maior produção científica a carca do tema.

A Indian Institutes of Technology instituição localizada na Índia situa-se como a instituição com maior número de documentos publicados, contribuindo com 30 publicações a respeito das pequenas centrais hidrelétricas. Essas publicações geraram 909 citações no período desta pesquisa. A University Polytechnic of Bucharest, da Romênia, e a North China Electric Power University, da China, ocupam o segundo e terceiro lugar. Ademais, destacamos que a Cracow University of Technology, Chinese Academy of Sciences e a National Technical University of Athens apresenta um total de citações maiores do que as instituições que ocupam o segundo e terceiro lugar no ranking. Além disso, é possível observar que o continente Asiático é representado por quatro universidades: Indian Institutes of Technology (Índia); North China Electric Power University (China); Hohai University (China) e Chinese Academy of Sciences (China). Já a Europa é representada por seis universidades: University Polytechnic of Bucharest (Romênia); Cracow University of Technology (Polônia); University of Belgrade (Sérvia); National Technical University of Athens (Grécia); Technical University of Kosice (Eslováquia) e University of Lisbon (Portugal), como evidencia a Tabela 3.

Tabela 3 – Top 10 filiações mais relevantes na literatura sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas

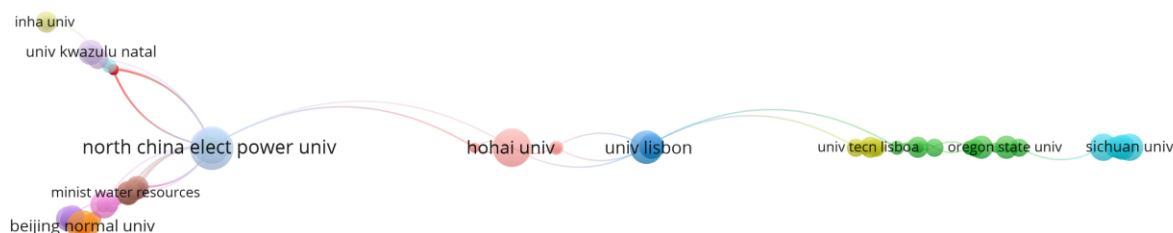
Rank	Organização	País	Documentos	TC
1	Indian Institutes of Technology	Índia	30	909
2	University Polytechnic of Bucharest	Romênia	20	25
3	North China Electric Power University	China	17	85
4	Hohai University	China	13	78
5	Cracow University of Technology	Polônia	11	163
6	Chinese Academy of Sciences	China	11	138
7	University of Belgrade	Sérvia	11	46
8	National Technical University of Athens	Grécia	10	155
9	Technical University of Kosice	Eslováquia	10	40
10	University of Lisbon	Portugal	10	598

Notas: A tabela elenca os resultados das principais instituições que pesquisam sobre o tema com o filtro de coautoria para organizações. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. TC: Total de Citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Figura 4, mostra o mapa de cooperação entre as instituições. Cada círculo representa uma universidade e o seu tamanho refere-se à quantidade de documentos publicados pelas instituições. Além disso, círculos com a mesma cor refletem forte colaboração mútua, criando assim cluster. As linhas que as conectam refletem a intensidade de colaborações entre as organizações. Ou seja, quanto maior a espessura maior nível de cooperação (Donthu *et al.*, 2021).

Como evidencia na Figura 4, diversos clusters foram obtidos. Hohai University, pertencente ao cluster rosa, possui relações de cooperação com a North China Electric Power University e a Chinese Academy of Sciences, cluster azul. Todas essas universidades são da China. A University of Lisbon, possui relações de cooperação com a Hohai University. Ao seu redor, forma-se um cluster de cooperação com diversas outras universidades, tais como a Universidade Politécnica de Madri, a Universidade Politécnica de Valencia, além de interagir com a o Instituto Superior Técnico de Portugal, cluster amarelo.

Figura 4- Redes institucionais de cooperação em pesquisa na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas



Notas: A figura elenca os resultados das principais instituições que pesquisam sobre o tema com o filtro de coautoria para organizações. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

Nova Figura 4, vemos outras universidades agruparem-se no cluster azul, como por exemplo a Universidade Federal do Mato Grosso, apresentando cooperação com a Universidade Federal de Minas Gerais dentre outras. Portanto, nota-se que há uma rede de cooperação de pesquisa entre as universidades e outras instituições, que trabalham em conjunto promovendo uma rede cooperação internacional para desenvolver as pesquisas sobre pequenas centrais hidrelétricas.

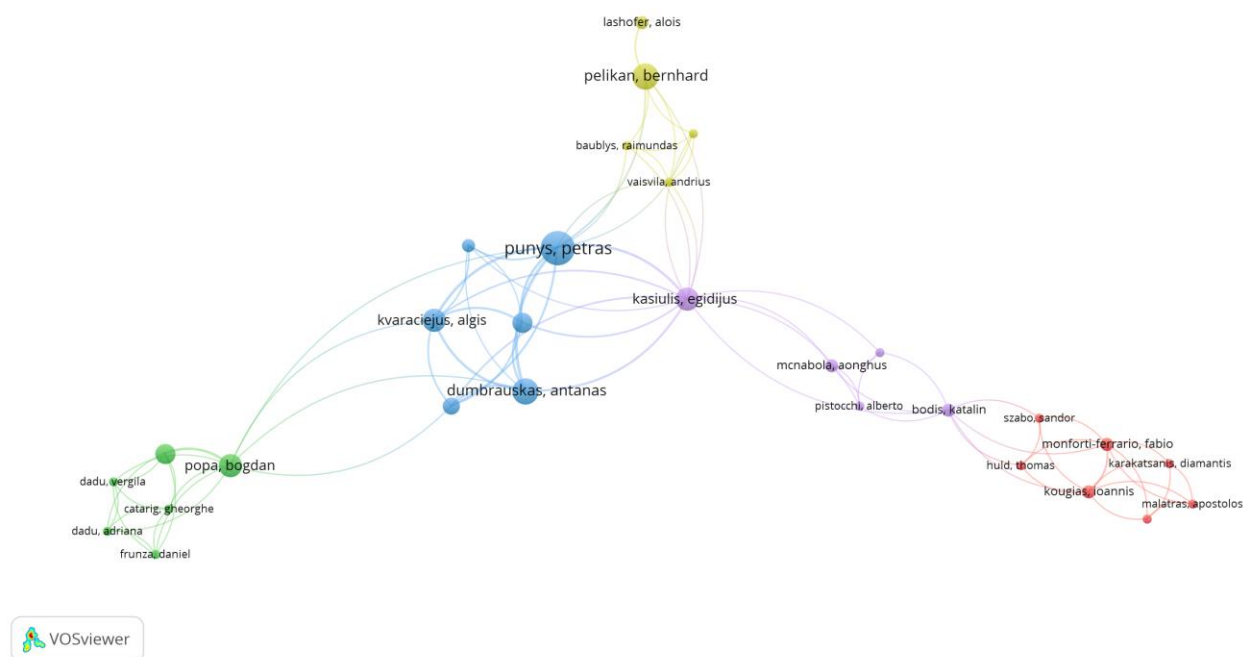
3.4.1.3 Análise de autores e coautores

O campo de pesquisa sobre as PCHs é um tema em expansão que atrai pesquisadores por todo o globo. Tal interesse deve-se à intensa busca por fontes de geração de energia que tenham como objetivo mitigar os impactos das mudanças climáticas, impulsionando os esforços em pesquisas que reduzam as emissões de carbono no setor energético. Logo, essa temática de importância mundial motiva pesquisadores a analisarem o contexto geral, não apenas de onde são nativos. Neste contexto, é crucial compreender a relação dos principais autores que estudam a respeito do tema. Isso permitirá não somente identificar os principais intelectuais, mas também examinar a rede de colaboração e disseminação do conhecimento científico a respeito das PCHs.

A Figura 5 evidencia a rede de cooperação de diferentes autores sobre o tema. Foram gerados cinco clusters: verde, azul, amarelo, rosa e vermelho. Analisando as ramificações

de colaborações, pode se observar que Bogdan N. Popa lidera no cluster verde em que conexão de suas publicações é fortemente correlacionada com o cluster azul liderada por Punys Petras. Esta por sua vez, cria uma ponte entre o cluster amarelo, Pelikan Bernhard, e o cluster rosa liderado Kasiulis Egidijus. Além disso, o cluster vermelho só possui conexão com o cluster rosa como pode ser visualizado na Figura 5:

Figura 5 – Redes de cooperação entre diferentes autores na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas



Notas: A figura elenca os resultados dos principais autores que pesquisam sobre o tema com o filtro de coautoria para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Tabela 4 elenca os pesquisadores que mais publicaram sobre a área das pequenas centrais hidrelétricas. O número de publicações e citações dos documentos podem indicar a produtividade e a influência na literatura científica sobre determinados temas por parte de um pesquisador. Verificar-se que o(a) autor(a) com maior número de publicações é Regina Mambeli Barros, com 20 publicações, seguido por R. P. Saini, com 19, e Geraldo Filho Tiago Filho, também com 19. Destacamos que o total de citação do segundo e terceiro colocado é maior do que a primeira colocada. Ainda, S. K. Singal apresenta maior número de citações dentre os 10 autores mais produtivos.

Tabela 4 – Top 10 autores que mais publicaram sobre a literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	Autor	Documentos	TC	H-index
1	Barros, Regina Mambeli	20	26	18

2	Saini, R. P.	19	369	40
3	Tiago Filho, Geraldo Lucio	19	26	15
4	Singal, S. K.	15	377	22
5	Borkowski, Dariusz	12	170	8
6	Punys, Petras	10	176	9
7	Ou, Chuanqi	8	15	4
8	Kucukali, Serhat	7	118	13
9	Kumar, Ravi	7	72	5
10	Singh, G. K.	7	70	38

Notas: A tabela elenca os resultados dos principais autores que pesquisam sobre o tema com o filtro de coautoria para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por autores igual a 1 e o mínimo de citações por autores igual a 5. TC: Total de Citação. O critério de seleção do H-index foi feito com base nas Métricas da Coleção principal da *Web of Science*. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

Regina Mambeli Barros é pesquisadora pela Federal University of Itajubá (UNIFEI) na categoria de assuntos pesquisa sobre: Energy & Fuels Science & Technology - Other Topics Environmental Sciences & Ecology Engineering Construction & Building Technology. R. P. Saini é pesquisador pela Indian Institute of Technology (IIT) – Roorkee no Department of Hydro and Renewable Energy (HRED), na categoria de assuntos pesquisa sobre: Energy & Fuels Science & Technology - Other Topics Engineering Thermodynamics Computer Science. Geraldo Lucio Tiago Filho é pesquisador pela Universidade Federal de Itajubá, na categoria de assuntos pesquisa sobre: Environmental Sciences & Ecology Energy & Fuels Science & Technology - Other Topics Engineering Mechanics.

3.4.2 Análise de Cocitações

A análise de cocitações nos permite examinar a estrutura e o domínio de um campo de exploração técnico-científico, observando a análise das relações entre as unidades de análise (periódicos, autores ou países) quando conjuntamente citadas em um estudo (Fahimnia; Sarkis; Davarzani, 2015; Small, 1973). Desta forma, ao mapear essa rede de cocitação, será possível observar interconexões de ideias e correntes de pensamentos contribuindo para uma compreensão abrangente das interações dos principais agentes.

3.4.2.1 Periódicos

A análise de cocitação de periódicos, trata-se da identificação e mapeamento na ocorrência do evento em que dois ou mais periódicos são citados simultaneamente por um terceiro, isso permite identificar explorar quais revistas científicas possui o maior impacto na literatura. Essa abordagem auxilia na investigação da rede de conexão de autores e periódicos científicos. Assim, é possível observar a dinâmica da produção científica no campo das pequenas centrais hidrelétricas.

A Tabela 5 lista os 10 principais periódicos na literatura de PCHs, sua classificação baseou-se de acordo com a quantidade de citações recebidas. Isso pode indicar a influência e a relevância dos estudos que são publicados nesta revista. As três primeiras posições são ocupadas pelos Journals Renewable and Sustainable Energy Reviews (1674), Renewable Energy (955) e Energy Policy (828). Particularmente, o periódico Renewable and Sustainable Energy Review busca compartilhar análises críticas e soluções inovadoras para a energia

renovável e sustentável, visando unir pesquisadores, setor privado e formuladores de políticas para atender as metas de desenvolvimento sustentável e reduções das emissões de CO₂. Já a revista *Renewable Energy* busca promover o conhecimento em tecnologias, visando ajudar profissionais a compartilhar componentes de energias renováveis. Por fim, a *Energy Policy* foca nas implicações da política energética, abordando temas econômicos, sociais, ambientais e de planejamento. Suas publicações abordam temáticas de interesse local, regional e global. O Journal apoia fortemente artigos com ênfase no objetivo sustentável N^a 7 das Nações Unidas.

Tabela 5 – Top 10 periódicos na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Rank	Periódicos	Citações
1	Renewable and Sustainable Energy Reviews	1674
2	Renewable Energy	955
3	Energy Policy	828
4	Energy	394
5	Applied Energy	256
6	River Research and Applications	247
7	Water-sui	240
8	Energies	239
9	Energy Conversion and Management	224
10	Journal of Hydrology	199

Notas: A tabela elenca os resultados das principais revistas que pesquisam sobre o tema com o filtro de cocitação para periódicos. A escolha dos limites foi de mínimo de 20 citações por fonte. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

Na Figura 6, podemos observar a formação de seis clusters sendo eles: Amarelo, vermelho, verde, azul, roxo e laranja. A revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* lidera o cluster amarelo estando fortemente relacionado com a *Energy Policy* (cluster amarelo). Ambas revistas criam conexões com todos os outros clusters. A revista *Renewable Energy* lidera o cluster roxo e estabelece conexão com todos os demais clusters. Isso sinaliza a importância e influência sobre a área de pesquisa acerca de pequenas centrais hidrelétricas. Visto que o tamanho dos nós indica a quantidade de citações em comum. Desta forma, quanto maior o nó, maior é a importância do periódico para o tema em estudo.

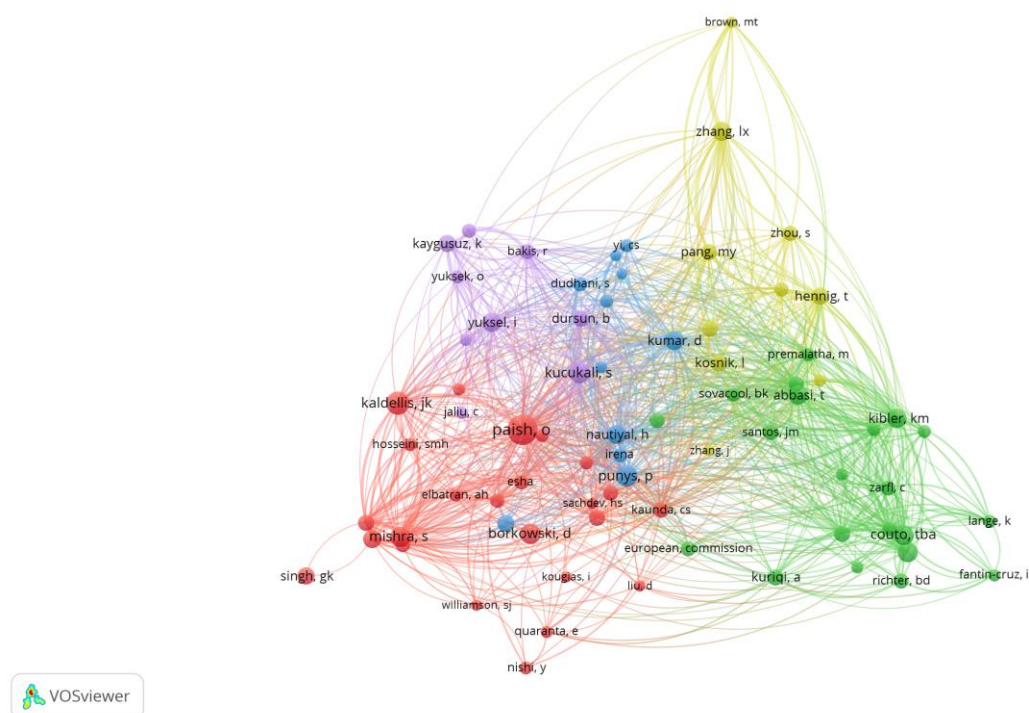
Tabela 6 – Top 10 autores mais citados em Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	Autor	TC
1	Paish, O	129
2	Kaldellis, Jk	75
3	Punys, P	67
4	Kucukali, S	66
5	Couto, Tba	59
6	Borkowski, D	57
7	Mishra, S	56
8	Poff, NI	56
9	Kumar, D	55
10	Yuksel, I	54

Notas: A tabela elenca os resultados dos principais autores que pesquisam sobre o tema com o filtro de cocitação para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de 20 citações por autor. TC: Total de citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A visualização das relações de cocitações entre autores pode ser vista na Figura 7. Os círculos representam os autores e as uniões entre eles indicam as relações de cocitação. Como anteriormente dito, o tamanho dos círculos representa o número de cocitações recebidas pelo autor correspondente. Desta forma, quanto mais influente esse autor, maior será o círculo. É visível a formação de cinco clusters, azul, amarelo, verde, vermelho e roxo. O autor Paish, O. (cluster vermelho), mantém interconexões com todos os demais clusters exercendo influência nas pesquisas sobre PCHs. Punys, P., e também mantém forte interconexões com outros clusters. Comportamento que pode ser visto também em Kaldellis, Jk como pode ser visto na Figura 7:

Figura 7 - Mapa de visualização da análise de cocitação de autores



Notas: A figura elenca os resultados dos principais autores que pesquisam sobre o tema com o filtro de cocitação para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de 20 citações por fonte. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

3.4.2. Análise de citação

A análise de citações possibilita identificar referências explícitas que foram feitas por um documento em outro, creditando as informações, ideias, argumentos coletados do trabalho. As citações podem estar no corpo do texto, em notas de rodapé em seções específicas destinadas as referências, entre outros lugares ao longo do trabalho. Assim, a análise das citações possibilita investigar o grau de impacto e influência dos artigos publicados sobre determinado tema. Desta forma, é possível mapear e elencar os principais autores e trabalhos que contribuíram para o tema das pequenas centrais hidrelétricas.

3.4.2.1 Análise de citação de documentos

A análise de citação de documentos investiga o resultado sistemático da ocorrência de determinado estudo nas referências bibliográficas de outros estudos. Desta forma, busca-se padrões de citações de estudos, pois pode ser um indicativo que o estudo molda a base teórica e metodológica nas pesquisas sobre pequenas centrais hidrelétricas. Na Tabela 7 são listados os 10 artigos mais citados. Eles são classificados de acordo o número total de citações. Além disso, a tabela também apresenta o ano de publicação, o autor e código DOI. É possível observar que os artigos de Paish (2002), Bekele & Tadesse (2012) e Agugliaro et al. (2013), são os três mais citados pelos outros autores da literatura de PCHs. O estudo de Paish (2002) apresenta um estudo acerca da energia hidrelétrica como sendo a principal fonte de produção elétrica renovável do mundo, cujas hidrelétricas de pequenas

escala são opções economicamente e ambientalmente viáveis para a eletrificação rural em países em desenvolvimento e também para o desenvolvimento hidrelétrico da Europa. Assim, as políticas ambientais associadas a incentivos tarifários para eletricidade verde podem contribuir para o setor de pequenas centrais hidrelétricas. O estudo de Bekele & Tadesse (2012), estuda o subdesenvolvimento da Etiópia devido ao baixo acesso limitado à eletricidade no país. Segundo o estudo, cerca de 16% da população possui acesso a eletricidade. Uma parcela de 85% vive em áreas com menos de 2% de disponibilidade de eletricidade. O estudo investiga também a viabilidade de um sistema de abastecimento elétrico híbrido de pequena escala baseado em Hidro/PV/Eólica. O estudo publicado por Agugliaro et al. (2013), aborda a produção científica das energias renováveis: solar, eólica, biomassa, hidroelétrica e geotérmica, para os anos 1979 até 2009, analisando a contribuição de diversos países e instituições de pesquisa. A tabela 7 evidencia os demais artigos mais citados na literatura de pequenas centrais hidrelétricas:

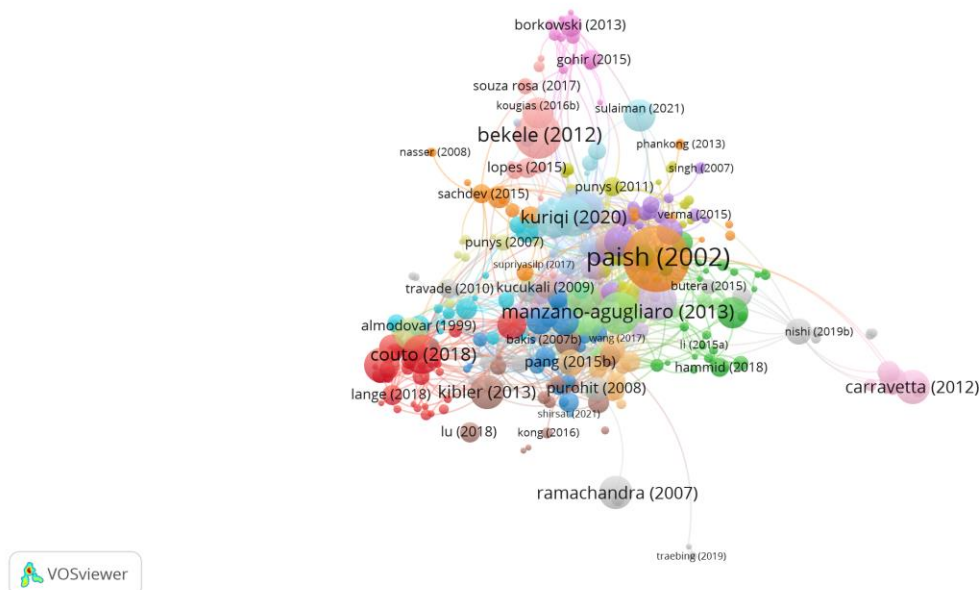
Tabela 7 – Top 10 dos artigos mais citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Rank	Autor/ano	Citações	DOI
1	Paish, 2002	552	10.1016/S1364-0321(02)00006-0
2	Bekele & Tadesse, 2012	280	10.1016/j.apenergy.2011.11.059
3	Agugliaro et al., 2013	232	10.1016/j.rser.2012.10.020
4	Couto & Olden, 2018	198	10.1002/fee.1746
5	Kuriqi et al., 2020	198	10.1016/j.enconman.2020.113267
6	Kumar & Saini, 2010	194	10.1016/j.rser.2009.07.024
7	Kuriqi et al., 2019	186	10.1016/j.apenergy.2019.113980
8	Barbarossa et al., 2020	157	10.1073/pnas.1912776117
9	Ardizzon et al., 2014	151	10.1016/j.rser.2013.12.043
10	Carravetta et al., 2012	151	10.1007/s11269-012-0114-1

Notas: A tabela elenca os resultados dos principais artigos que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para documentos. A escolha dos limites foi de mínimo de 5 citações por documento. TC: Total de Citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

O mapa de citações na área de Pequenas Centrais Hidrelétricas é demonstrado na Figura 8. As conexões entre os círculos representativas das relações de citação entre as referências. A relevância de uma referência é correspondente ao tamanho dos círculos, a legenda dos círculos fornece informações sobre o primeiro autor e o ano de publicação. Como pode ser visto, há a formação de diversos clusters com interconexões mostrando uma colaboração e a coexistência temática entre os autores:

Figura 8 – Mapa da análise da citação dos documentos citados



Notas: A figura elenca os resultados dos principais artigos que pesquisam sobre o tema com o filtro de cocitação para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de 20 citações por fonte. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

3.4.2.2 Análise de Fontes

Os principais journals podem ser analisados para identificar os mais preeminentes do campo de pesquisa. Dessa forma a investigação das referências citadas em periódicos é uma ferramenta útil para mensurar o seu fator de impacto. Quando ao menos um artigo de dois periódicos é citado em um estudo, haverá então uma relação de citação em comum esses periódicos. A visualização das redes de cocitação de periódicos pode ser vista na Figura 6. O tamanho do círculo que representa a quantidade de citações comuns. Quanto maior esse número, maior é a importância do periódico.

Na Tabela 8, estão descritos os 10 periódicos mais citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas. A classificação foi baseada no total de citações recebidas e o número de documentos publicados. A revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* lidera o ranking, com um total de 3196 citações para os 91 documentos publicados. Isso sugere relevância na literatura das PCHs. Em segundo lugar está a revista *Renewable Energy* com 1136 citações e 78 documentos publicados, mostrando também destaque nesta área. Ademais, nota-se que a *Energy Policy* e a *Applied Energy* também se destacam com resultados significativos no número de citações, a despeito de terem menos documentos publicados. Esses resultados indicam a relevância e a contribuição dessas revistas para a disseminação e o avanço científico do campo de pesquisa das pequenas centrais hidrelétricas, auxiliando pesquisadores e formuladores de políticas em projetos e no direcionamento do cenário acadêmico.

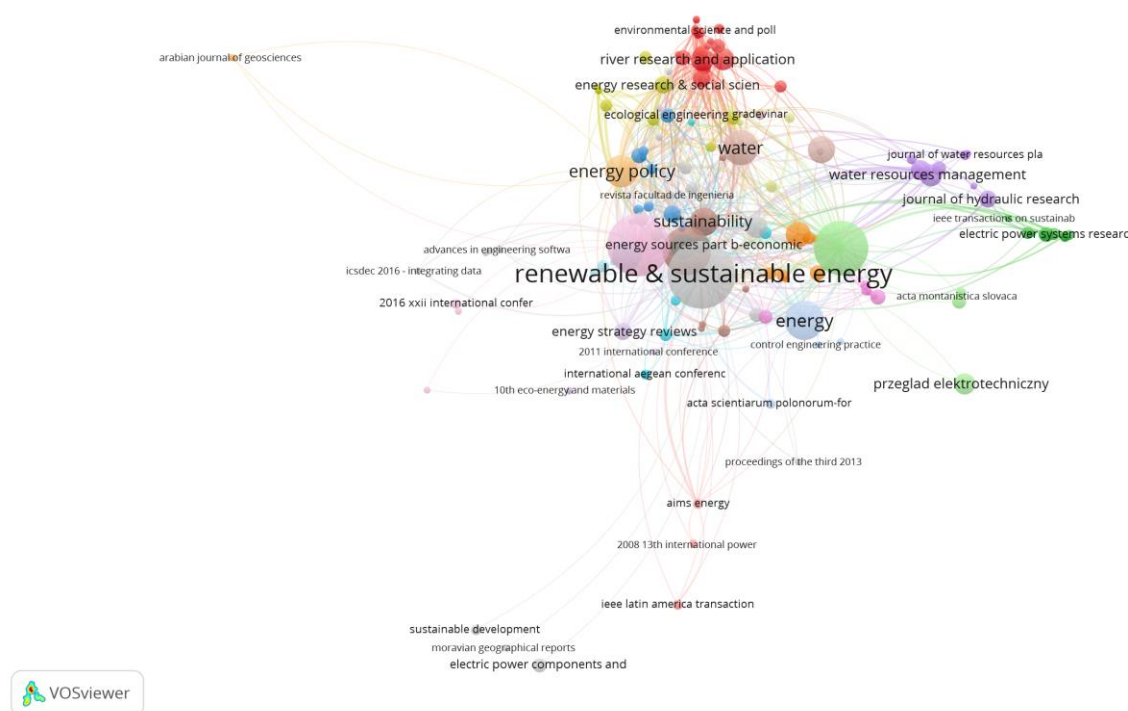
Tabela 8 – Os 10 principais periódicos citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	Periódico	Citações	Documentos
1	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3196	91
2	Renewable Energy	1136	78
3	Energy Policy	782	21
4	Applied Energy	550	10
5	Energy	463	30
6	Energy Conversion and Management	416	13
7	Water Resources Management	299	10
8	Energies	298	58
9	Frontiers In Ecology and The Environment	266	4
10	River Research and Applications	223	11

Notas: A tabela elenca os resultados das principais Journals que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para fontes. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Figura 9 possibilita a visualizar o mapa da análise de citações de periódicos e suas respectivas formação de clusters. Como pode ser observado, o periódico Renewable Sustainable Energy Reviews possui grande participação na literatura, acumulando 3196 citações. O periódico Renewable Energy agrega-se a outras revistas os quais contribuem à análise crítica sobre tecnologias e políticas relacionadas à energia renovável e sustentável através de análise empírica econômica.

Figura 9 - Visualização da análise de citações de periódicos



Notas: A figura elenca os resultados das principais Journals que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para fontes. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

3.4.2.3 Citação de autores

Tomando como base o entendimento de que quanto mais um autor é citado, maior a sua importância para o desenvolvimento de determinado campo de estudo, esta seção buscará apresentar os pesquisadores que mais ocorrem em documentos relacionados à PCHs (Tabela 9). O ordenamento dos autores se deu pelo número total de citações e consta na tabela também a quantidade de documentos publicados. Em primeiro lugar está o autor Paish, O, com um total 552 citações em um único documento. Em seguida está Pinheiro, Antonio N. com 452 citações com 4 documentos produzidos. Em terceiro lugar está Kuriqi, Alban com 439 citações e também 4 documentos produzidos. Portanto, esse são os três principais autores mais com trabalhos mais frequentemente citados na literatura de PCHs.

Tabela 9 – Os 10 principais autores citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas

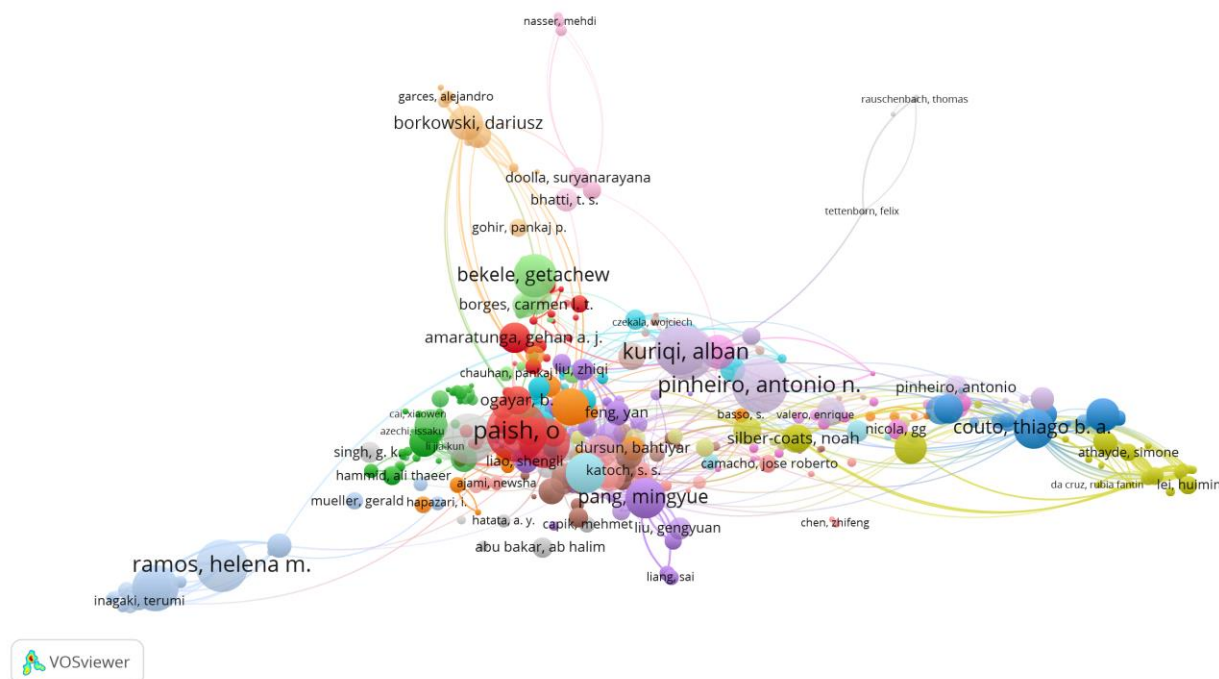
Rank	Autores	TC	Documentos
1	Paish, O	552	1
2	Pinheiro, Antonio N.	452	4
3	Kuriqi, Alban	439	4
4	Ramos, Helena M.	405	6
5	Garrote, Luis	384	2

6	Sordo-Ward, Alvaro	384	2
7	Singal, S. K.	377	15
8	Saini, R. P.	369	19
9	Carravetta, Armando	317	4
10	Fecarotta, Oreste	317	4

Notas: A tabela elenca os resultados dos principais autores citados que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. TC: Total de Citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Figura 10 apresenta o mapa de visualização das citações de autores. O tamanho do círculo representa a quantidade de citações que cada autor possui e as linhas que interconectam os diferentes autores representam a presença de citações referente a ambos pesquisadores em um mesmo documento. Nesse contexto, observamos que o nó referente ao Paish, O, estabelece conexões com Pang, Mingyue (cluster roxo), Bhatti, T. S. (cluster rosa) e Nishi, Yasutuki. Pinheiro, Antonio N. possui conexões com Couto, Thiago B. A. (cluster azul) Kuriqi, Alban (cluster lilás), entre diversas outras conexões de relação de citação que são feitas como mostra a figura:

Figura 10 - Mapa de visualização da análise de citações de autores



Notas: A figura elenca os resultados dos principais autores citados que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para autores. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

3.4.2.4 Organizações

O objetivo da análise das organizações é o de identificar e mapear as instituições que tiveram suas produções mais citadas dentre o período da nossa pesquisa. Buscamos com esta análise verificar quais são as instituições de maior relevância em nosso campo de exploração. Como pode ser visualizado na Tabela 10, a Indian Institutes of Technology lidera o ranking com 909 citações e 30 trabalhos publicados. Seguido por University of Lisbon com 598 citações e 10 documentos publicados. E em terceiro lugar encontra-se a It Power Ltd com o total de 552 citações e apenas um documento produzido.

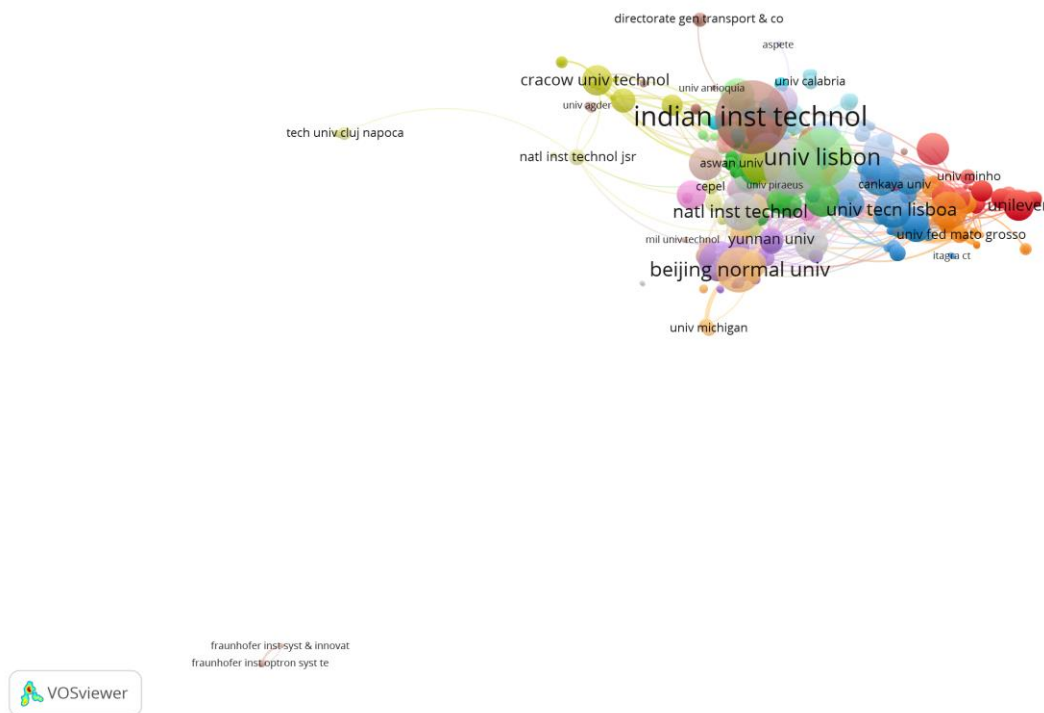
Tabela 10 – As 10 principais organizações citadas na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	Organization	TC	Documents
1	Indian Institutes of Technology	909	30
2	University of Lisbon	598	10
3	It Power Ltd	552	1
4	Beijing Normal University	353	9
5	University of Almería	309	3
6	Addis Ababa Institute of Technology	280	1
7	University of Naples Federico II	272	3
8	National Institute of Technology	250	9
9	University Technical Lisboa	241	4
10	University of Washington	234	3

Notas: A tabela elenca os resultados das principais organizações citados que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para organizações. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. TC: Total de Citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Figura 8 demonstra o mapa de visualização de análise de citações das organizações. Como nos mapas anteriores, a conexão entre os nós representa a presença mútua de ambas instituições dentre as referências citadas. Assim como nas demais análises, quanto maior os círculos, maior a quantidade de citações.

Figura 11 – Mapa de visualização da análise de citações das organizações



Notas: A figura elenca os resultados das principais organizações citados que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para organizações. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por organizações igual a 1 e o mínimo de citações por organizações igual a 5. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

Ao observar o gráfico gerado, vemos que o círculo em destaque é o relacionado ao cluster marrom, especificamente a Indian Institutes of Technology. Suas conexões estendem-se a outras instituições acadêmicas. Ademais, integram o conjunto de instituições afins a Cracow University Technology (cluster amarelo) e a Stanford University (cluster vermelho). Desta forma, é possível visualizar as universidades e organizações que influenciam as pesquisas acerca das PCHs.

3.4.2.5 Países

A difusão de conhecimento proporcionada pela publicação de artigos em periódicos online e o processo de globalização possibilitou o nivelamento do conjunto de informação e dados à pesquisadores em diferentes países. Esta análise busca quantificar a quantidade de citações relacionadas a cada país presente na literatura de PCHs. Ademais, o resultado evidencia os países mais influentes nessa área de estudo e os países em que a cooperação técnica-científica ocorre de modo mais forte. As suas razões podem ser aprofundadas por pesquisas posteriores. A Tabela 9 corresponde os 10 países com maior número de citações acerca das pesquisas acerca de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

No primeiro lugar está a Índia com 1681 citações e 93 documentos produzidos sobre a literatura de pequenas centrais hidrelétricas, seguida pela China com 1572 citações de 163 trabalhos publicados. Os Estados Unidos da América estão em terceiro lugar, acumulando um total de 1401 citações e 65 documentos publicados. Os demais países,

como Espanha (1382 citações e 38 documentos), Portugal (1257 citações e 26 documentos) e Itália (1160 citações e 38 documentos), England (1047 citações e 14 documentos), Turkey (733 citações e 31 documentos), Brazil (577 citações e 55 documentos) e a Germany (464 citações e 46 documentos) complementam a lista. A distribuição geográfica e a representação de diferentes regiões do mundo demonstram um interesse global nas pesquisas em PCHs.

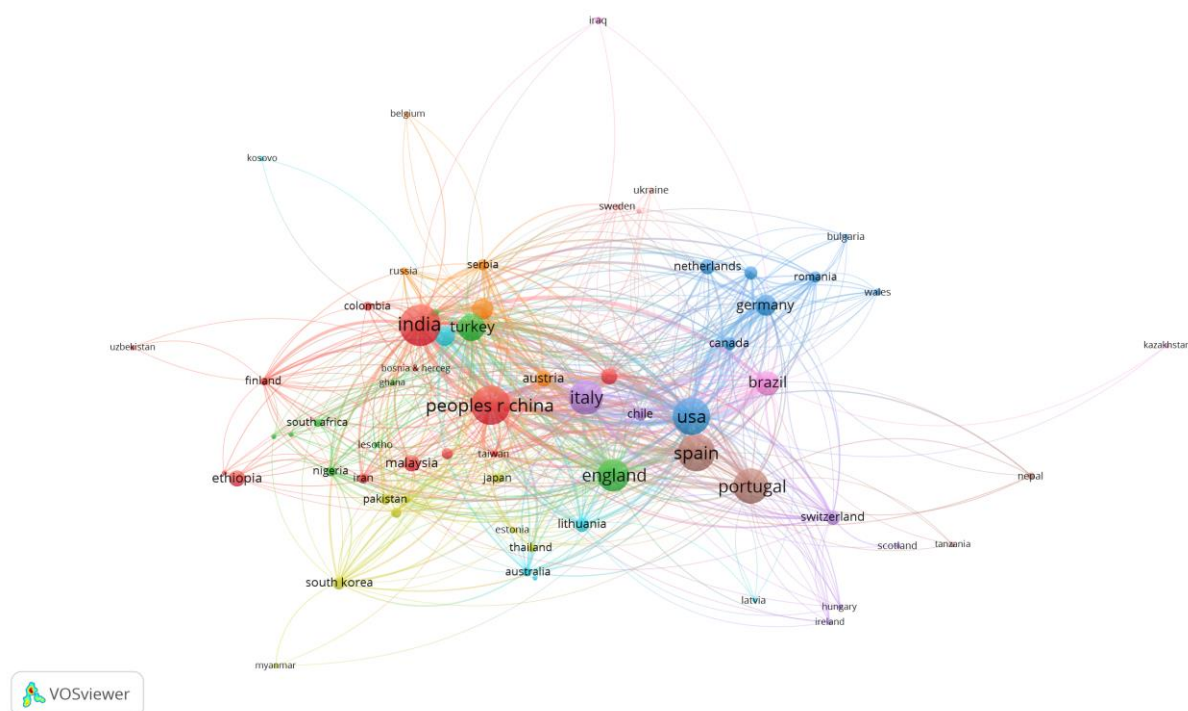
Tabela 11 – Os 10 principais países citados na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	country	TC	Documents
1	India	1681	93
2	Peoples R China	1572	163
3	USA	1401	65
4	Spain	1382	38
5	Portugal	1257	26
6	Italy	1160	38
7	England	1047	14
8	Turkey	733	31
9	Brazil	577	55
10	Germany	464	46

Notas: A tabela elenca os resultados dos principais países que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para países. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por países igual a 1 e o mínimo de citações por países igual a 5. TC: Total de Citação. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A Figura 12 apresenta o mapa da análise de citações de países. Destaca-se a formação de diversos clusters, estando a China e a Índia no mesmo clusters com fortes conexões com os EUA e Alemanha. Por sua vez, ambos são fortemente conectados com a Espanha e Portugal, cujos compõem juntos o cluster marrom. Isso pode evidenciar um caráter intercontinental para o avanço das pesquisas das PCHs

Figura 12 – Mapa de visualização da análise de citações de países



Notas: A figura elenca os resultados dos principais países que pesquisam sobre o tema com o filtro de citação para países. A escolha dos limites foi de mínimo de documentos por países igual a 1 e o mínimo de citações por países igual a 5. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

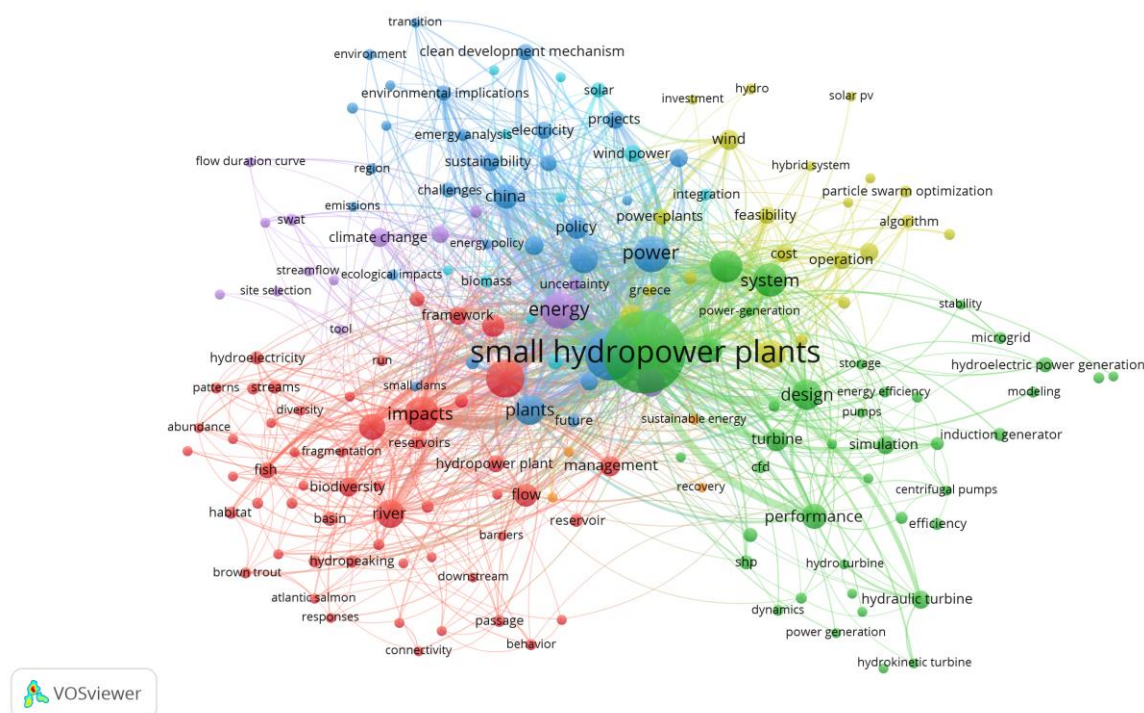
3.4.3. Análise de palavras-chaves

A análise de palavras-chaves contribui para uma pesquisa mais eficiente, direcionado o artigo para determinados tópicos, além de facilitar a busca por outros pesquisadores. Elas refletem uma síntese dos principais pontos abordados nas pesquisas.

3.4.3.1 Análise de co-ocorrência

Ao se extrair do título, resumo ou corpo do documento as palavras-chaves buscamos resumir o conteúdo principal abordado no estudo. Isso pode incluir hipóteses, métodos e evidências. Ao se analisar determinadas palavras-chaves, podemos aprofundar as abordagens teóricas e ou empíricas preeminente na literatura e também pontuar as futuras tendências e as fronteiras que podem ser exploradas. Na Figura 13, é possível examinar o mapa de co-ocorrência de palavras-chave por clusters. O tamanho dos círculos indica a frequência com que a palavra-chave apareceu nos documentos compilados. Pode-se visualizar existência de diversos agrupamentos, com temáticas bastante diferentes que se interconectam por círculos.

Figura 13 - Rede de visualização da análise de co-ocorrência de palavras-chave



Notas: A figura elenca os resultados das principais palavras-chaves sobre o tema de pequenas centrais hidrelétricas. A escolha dos limites foi de mínimo de 5 ocorrências por palavra-chave. As palavras dams foram concatenadas em dam; electricity-generation em electricity Generation; hydraulic turbines e hydraulic-turbine em hydraulic turbine; hydropower plants em hydropower plant; renewable energy-sources em renewable energy sources; small hydro power plants, small hydro, small hydro power, small hydro power plant, small hydropower, small hydropower (shp), small hydropower plant, small hydropower plant (shp), small hydropower station, small hydropower stations e small-scale hydropower em small hydropower plants; systems em system; technologies em technology; turbines em turbine; politics e policies em policy; plant em plants; models em model; impact em impacts; climate-change em climate change , pois são sinônimos. O gráfico foi extraído do software VOSviewer pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

Ao analisarmos as palavras-chave mais frequentes, evidenciamos como resultado a palavras "Small Hydropower Plant", sendo o maior círculo, conectando com todos os demais clusters como mostra a Figura 13. Outras palavras também se destacam e é o caso das "desing", "performace", "system", como pode ser visto no cluster verde. "Impact", "rive" e "hydropower" foram algumas das palavras que se destacam no cluster vermelho. No cluster azul, palavras como "plants", "power" e "sustanable developmet" também de destacaram. Isso demostra que pode haver preocupações na literatura com fatores econômicos-ambientais na geração de energia. Do mesmo modo, pode ser um indicativo pela busca de maior eficiência das PCHs, indicando a iimportância da maximização da utilização dos recursos hídricos na literatura.

A Tabela 12 apresenta as 15 palavras-chaves mais frequentemente usadas nos trabalhos na área das PCHs, elas são classificadas de acordo com a frequência de ocorrência. Em primeiro lugar está a palavra “Small Hydropower Plants” com 408 ocorrências, logicamente por se tratar da literatura compreende-se a alta frequência desta palavra. Em segundo lugar, está a palavra “Renewable Energy” com 145 ocorrências, e em

terceiro “Hydropower” 83 ocorrências. A tabela segue com outras palavras como: Power, Energy, Impacts, System, Generation, Design, Plants, Optimization, River, Sustainable Development, Model e Dam.

Tabela 12 – As 15 principais palavras-chave classificadas por frequência de citação na literatura de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Rank	Keywords	Occurrences
1	Small Hydropower Plants	408
2	Renewable Energy	145
3	Hydropower	83
4	Power	75
5	Energy	74
6	Impacts	67
7	System	62
8	Generation	58
9	Design	51
10	Plants	50
11	Optimization	44
12	River	43
13	Sustainable Development	43
14	Model	41
15	Dam	39

Notas: A tabela elenca os resultados das principais palavras-chaves sobre o tema de pequenas centrais hidrelétricas. A escolha dos limites foi de mínimo de 5 ocorrências por palavra-chave. As palavras dams foram concatenadas em dam; electricity-generation em electricity Generation; hydraulic turbines e hydraulic-turbine em hydraulic turbine; hydropower plants em hydropower plant; renewable energy-sources em renewable energy sources; small hydro power plants, small hydro, small hydro power, small hydro power plant, small hydropower, small hydropower (shp), small hydropower plant, small hydropower plant (shp), small hydropower station, small hydropower stations e small-scale hydropower em small hydropower plants; systems em system; technologies em technology; turbines em turbine; politics e policies em policy; plant em plants; models em model; impact em impacts; climate-change em climate change , pois são sinônimos.. A tabela foi elaborada pelos autores com base em dados coletados na *Web of Science*.

A presença de palavras como “Renewable Energy”, “Sustainable Development” “Hydropower”, “Impacts” e “Small Hydropower Plants”, é um indicativo que a literatura que buscou analisar fontes de energia sustentáveis e modernas que garantisse um desenvolvimento sustentável no contexto do papel das PCHs, alinhando a busca por abordagens que equilibrem o progresso com a preservação ambiental. Palavras como “Design”, “Optimization”, “Power”, “Generation” e “Energy” sugere um interesse entender e maximizar seu desempenho das usinas garantindo a eficiência e a melhoria do projeto das PCHs. Ademias, as palavras “River”, “Plants”, “Model”, “System” e “Dam” pode ser um indicativo que busca observar a estrutura e os meios de geração de energia. Portanto, essa palavras-chave formam uma rede interligada que busca sintetizar os conceitos mais frequentemente abordados nas publicações sobre o tema analisado, auxiliando a identificar os principais temas de pesquisa e a compreender a dinâmica do campo das PCHs.

3.4.3.2 Fronteiras de pesquisa

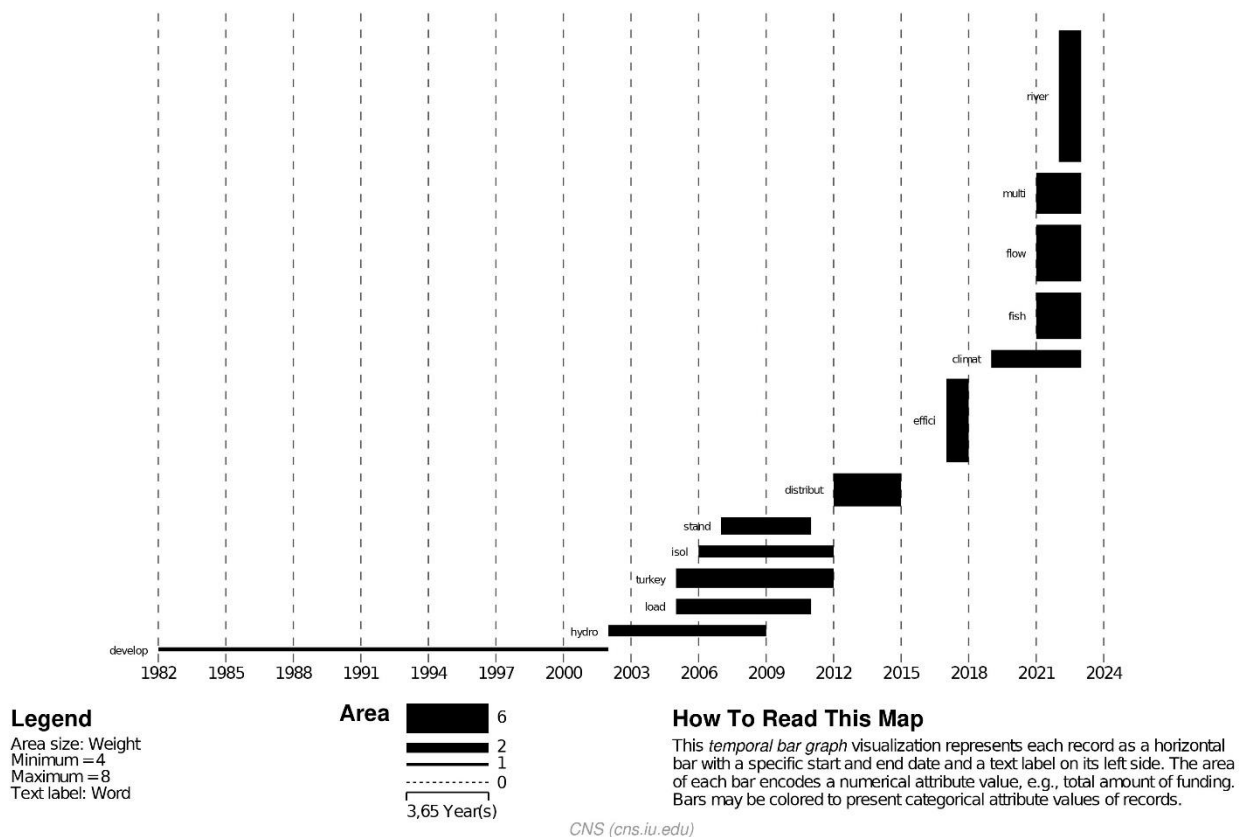
A detecção de explosão do SCI² pode avaliar as palavras-chave mais comumente referenciadas e sua importância ao longo do tempo. A Tabela 13 lista e a Figura 14 evidencia as palavras-chaves que apresentaram um processo explosivo no período entre 1982 e 2023. As palavras utilizadas constam no título de cada documento presente na amostra e foram normalizadas, evitando variações de sufixos e plural. A tabela apresenta o início e fim do intervalo de explosão, bem como o cálculo da intensidade relacionada ao seu uso no período, dado pela coluna força. Quanto maior o valor da força, maior a ocorrência da palavra no período relativo à quantidade de anos no período de uso.

Tabela 13 - As principais palavras-chave classificadas por explosão de citação.

Rank	Keywords	Strength	Begin	End
1	Turkey	78,10	2005	2012
2	Distribut	57,05	2012	2015
3	Effici	47,91	2017	2017
4	Multi	46,94	2021	2023
5	Stand	39,91	2007	2011
6	River	7,54	2022	2023
7	Flow	6,50	2021	2023
8	Fish	5,35	2021	2023
9	Load	5,29	2005	2011
10	Develop	4,61	1982	2002
11	Hydro	4,52	2002	2009
12	Isol	4,14	2006	2012
13	Climat	4,11	2019	2023

Fonte: A tabela foi elaborada pelos próprios autores utilizando o software SCI² com base em dados coletados na *Web of Science*.

Figura 14 - Gráfico das principais palavras-chave distribuído por ano classificadas por explosão de citação.



Fonte: Gráfico elaborado pelos próprios autores utilizando o software SCI² com base em dados coletados na *Web of Science*.

A análise das explosões relacionadas a palavras-chaves representa uma possibilidade de avaliar fronteiras de pesquisa por identificar a ascensão e queda de um determinado conceito, ideia ou campo de exploração. Pela Tabela 9, vemos que “Turkey” compôs intensamente o campo de exploração de PCHs no período de 2005 e 2012. Na última década, a Turquia buscou a diversificação de sua matriz energética, especialmente através do crescimento de parcelas renováveis de geração elétrica, ainda que se mantenha fortemente dependente de importação de petróleo e gás natural (cerca de 93% e 99%, respectivamente) (IEA, 2021a, 2022). Ainda segundo o relatório da International Energy Agency, desde 2009 o país dobrou a produção doméstica de energias renováveis com crescimento acelerado de fontes geotérmicas (21%) e hídricas (17%). Políticas energéticas, como a Renewable Energy Support Mechanism (YEKDEM), buscou incentivar a implementação de energias renováveis (eólica, solar, geotérmica, biomassa e hídricas) via *feed-in-tariffs*. Para acessar o programa, as áreas destinadas a formação de reservatórios, no caso da geração hidroelétrica, deviam possuir uma área não maior que 15km². Estudos como os Balat (2007), Dursun & Gokcol (2011), Kucukali (2014) e Yuce & Yuce, (2016) buscam analisar o potencial de instalação e as possíveis contribuições que a tecnologia de pequenas centrais hidroelétricas poderiam fornecer à condição de dependência e insegurança energética enfrentada pela Turquia. Ademais, estudos como Dursun & Gokcol (2011) e (Başkaya; Başkaya; Sari, 2011) buscaram investigar qual a contribuição das

pequenas centrais hidrelétricas para o desenvolvimento sustentável da Turquia e os impactos causados pela implementação destas plantas.

Há palavras ainda que estão sendo utilizadas de forma recorrente na literatura atual, é o caso das palavras: multi, flow, fish, climat, estando com a explosão de *burst* ainda em 2023. De modo geral, os estudos que possuem “multi” no título, buscam analisar potencial e vazão hidro-energético de localidades específicas, aplicações e desenvolvimento de tecnologias e os impactos econômicos e socioambientais deste tipo de geração (Biswas *et al.*, 2018; Vassoney *et al.*, 2021). Estudos que possuem “flow” no título buscam responder se o fluxo influencia do tipo de regime de fluxo do rio nas PCHs (Kuriqi *et al.*, 2019), aqueles com “fish” no título buscaram investigar os efeitos ambientais em peixes e animais aquáticos (Anderson; Freeman; Pringle, 2006; Barbarossa *et al.*, 2020), por fim estudos com “climat” falam a respeito das mudanças climáticas e seus cenários para as pequenas centrais hidrelétricas (Matrenin *et al.*, 2022).

3.5. Conclusões

O debate sobre as mudanças climáticas e a dependência de fontes energéticas por parte dos países é um tema central na atualidade. Neste contexto, o estudo da literatura acerca das Pequenas Centrais Hidrelétricas é importante uma vez que se destacam como uma opção viável e promissora de geração de energia limpa e renovável. Dessa forma, é urgente acelerar os processos de descarbonização das economias. Sua importância ganha contornos favoráveis à análise da relação empírica de emissões de gases de efeito estufa e na matriz energética mundial diante dos avanços tecnológicos, mudanças regulatórias e fluxos internacionais de capitais. Este estudo teve como objetivo realizar uma bibliometria acerca do tema das Pequenas Centrais hidrelétricas. Foram utilizados dados completos de documentos da base indexadora Web of Science. A descrição e visualização dos dados foram obtidos através da utilização do software VosViewer.

Uma extensiva e abrangente análise de coautorias e cocitação é realizada e hot research e fronteiras de pesquisas são discutidas. Ademais, a busca por torna-las mais eficientes sendo importantes objetos de análise os quais incluem aspectos de maior produtividade. Sobretudo, indica-se este trabalho para pesquisadores e gestores públicos que lidam com o tema para uma ágil apropriação dos principais autores, países, instituições, referências e journals a serem considerados no campo de pesquisa.

Referências

- ACEDO, Francisco José *et al.* Co-Authorship in Management and Organizational Studies: An Empirical and Network Analysis*. *Journal of Management Studies*, [s. l.], v. 43, n. 5, p. 957–983, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-6486.2006.00625.x>. Acesso em: 4 ago. 2023.
- AGUGLIARO, F. Manzano *et al.* Scientific production of renewable energies worldwide: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 18, p. 134–143, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez66.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S136403211200562X>. Acesso em: 4 jul. 2023.
- ANDERSON, Elizabeth P.; FREEMAN, Mary C.; PRINGLE, Catherine M. Ecological consequences of hydropower development in Central America: impacts of small dams and water diversion on neotropical stream fish assemblages. *River Research and Applications*, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 397–411, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.899>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 875, DE 10 DE MARÇO DE 2020. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020875.html>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- ARDIZZON, G.; CAVAZZINI, G.; PAVESI, G. A new generation of small hydro and pumped-hydro power plants: Advances and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 31, p. 746–761, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008575>. Acesso em: 18 out. 2022.
- BALAT, Havva. A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey: The case of small hydropower plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 11, n. 9, p. 2152–2165, 2007.
- BARBAROSSA, Valerio *et al.* Impacts of current and future large dams on the geographic range connectivity of freshwater fish worldwide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s. l.], v. 117, n. 7, p. 3648–3655, 2020. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1912776117>. Acesso em: 8 ago. 2023.
- BAŞKAYA, Ş; BAŞKAYA, E; SARI, A. The principal negative environmental impacts of small hydropower plants in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, [s. l.], v. 6, 2011.
- BEERKENS, Maarja. Facts and fads in academic research management: The Efeito of management practices on research productivity in Australia. *Research Policy*, [s. l.], v. 42, n. 9, p. 1679–1693, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733313001303>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- BEKELE, Getachew; TADESSE, Getnet. Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia. *Applied Energy*, [s. l.], v. 97, Energy Solutions for a Sustainable World - Proceedings of the Third International Conference on Applied Energy, May 16-18, 2011 - Perugia, Italy, p. 5–15, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911007653>. Acesso em: 8 ago. 2023.
- BISWAS, Partha P. *et al.* Multiobjective economic-environmental power dispatch with stochastic wind-solar-small hydro power. *Energy*, [s. l.], v. 150, p. 1039–1057, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544218303943>. Acesso em: 10 ago. 2023.

CARRAVETTA, Armando *et al.* Energy Production in Water Distribution Networks: A PAT Design Strategy. *Water Resources Management*, [s. l.], v. 26, n. 13, p. 3947–3959, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0114-1>. Acesso em: 8 ago. 2023.

CISNEROS, Luis *et al.* Bibliometric study of family business succession between 1939 and 2017: mapping and analyzing authors' networks. *Scientometrics*, [s. l.], v. 117, n. 2, p. 919–951, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2889-1>. Acesso em: 4 ago. 2023.

COUTO, Thiago BA; OLDEN, Julian D. Global proliferation of small hydropower plants – science and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 91–100, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fee.1746>. Acesso em: 16 out. 2022.

DONTHU, Naveen *et al.* How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, [s. l.], v. 133, p. 285–296, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296321003155>. Acesso em: 2 ago. 2023.

DURSUN, Bahtiyar; GOKCOL, Cihan. The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 1227–1235, 2011.

ECK, Nees van; WALTMAN, Ludo. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 523–538, 2009. Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/11192/84/2/article-p523.xml>. Acesso em: 2 ago. 2023.

FAHIMNIA, Behnam; SARKIS, Joseph; DAVARZANI, Hoda. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, [s. l.], v. 162, p. 101–114, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527315000067>. Acesso em: 7 ago. 2023.

FERREIRA, Jacson Hudson Inácio *et al.* Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 56, p. 380–387, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115013003>. Acesso em: 18 out. 2022.

GARFIELD, E. Is citation analysis a legitimate evaluation tool?. *Scientometrics*, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 359–375, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02019306>. Acesso em: 2 ago. 2023.

HU, Huakun *et al.* Bibliometric analysis for ocean renewable energy: An comprehensive review for hotspots, frontiers, and emerging trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 167, p. 112739, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212200627X>. Acesso em: 2 ago. 2023.

HUDSON INACIO FERREIRA, Jacson; ROBERTO CAMACHO, Jose; ALMANSA MALAGOLI, Juliana. A Contribution to the Study of the Estimate Hydroelectric Potential for Small Hydropower Plant. *IEEE Latin America Transactions*, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 3215–3224, 2016.

IEA, International Energy Agency. Turkey 2021 - Energy Policy Review. [s. l.], 2021a.

IEA, International Energy Agency. Türkiye - Countries & Regions. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/turkiye>. Acesso em: 10 ago. 2023.

IEA, International Energy Agency. World Energy Outlook 2021. [s. l.], 2021b.

IRENA, International Renewable Energy Agency. Renewable Power Generation Costs 2020. [s. l.], 2020.

KUCUKALI, Serhat. Environmental risk assessment of small hydropower (SHP) plants: A case study for Tefen SHP plant on Filyos River. *Energy for Sustainable Development*, [s. l.], v. 19, n. 1, 2014. Disponível em: <https://avesis.hacettepe.edu.tr/yayin/5abb8e8a-c445-421f-a88c-2f815a473a23/environmental-risk-assessment-of-small-hydropower-shp-plants-a-case-study-for-tefen-shp-plant-on-filyos-river>. Acesso em: 26 maio 2023.

KUMAR, Pardeep; SAINI, R.P. Study of cavitation in hydro turbines—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 374–383, 2010. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez66.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032109001609>. Acesso em: 4 jul. 2023.

KURIQI, Alban *et al.* Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. *Applied Energy*, [s. l.], v. 256, p. 113980, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919316678>. Acesso em: 8 ago. 2023.

KURIQI, Alban *et al.* Water-energy-ecosystem nexus: Balancing competing interests at a run-of-river hydropower plant coupling a hydrologic–ecohydraulic approach. *Energy Conversion and Management*, [s. l.], v. 223, p. 113267, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420308098>. Acesso em: 8 ago. 2023.

MARCO-LAJARA, Bartolomé *et al.* Analyzing the Role of Renewable Energy in Meeting the Sustainable Development Goals: A Bibliometric Analysis. *Energies*, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 3137, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/3137>. Acesso em: 2 ago. 2023.

MATRENIN, Pavel *et al.* Adaptive ensemble models for medium-term forecasting of water inflow when planning electricity generation under climate change. *Energy Reports*, [s. l.], v. 8, p. 439–447, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484721012592>. Acesso em: 10 ago. 2023.

NATHANIEL, Solomon Prince *et al.* The roles of nuclear energy, renewable energy, and economic growth in the abatement of carbon dioxide emissions in the G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 28, n. 35, p. 47957–47972, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-021-13728-6>. Acesso em: 9 nov. 2021.

NATHANIEL, Solomon Prince; ADELEYE, Ngozi. Environmental preservation amidst carbon emissions, energy consumption, and urbanization in selected african countries: Implication for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 285, p. 125409, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262035455X>. Acesso em: 9 ago. 2023.

PAISH, Oliver. Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 6, n. 6, p. 537–556, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032102000060>. Acesso em: 24 nov. 2022.

SAIDI, Kais; OMRI, Anis. The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental Research*, [s. l.], v. 186, p. 109567, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120304606>. Acesso em: 9 ago. 2023.

SANTOS, Daiane *et al.* CLUSTERIZAÇÃO DE ATIVOS: UMA ALTERNATIVA PARA AUXILIAR NAS DECISÕES FINANCEIRAS. *In: CLUSTERIZAÇÃO DE ATIVOS*, 2020. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2020.

SMALL, Henry. Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 265–269, 1973. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.4630240406>. Acesso em: 7 ago. 2023.

TAHAMTAN, Iman; SAFIPOUR AFSHAR, Askar; AHAMDZADEH, Khadijeh. Factors affecting number of citations: a comprehensive review of the literature. *Scientometrics*, [s. l.], v. 107, n. 3, p. 1195–1225, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1889-2>. Acesso em: 4 ago. 2023.

TSAY, Ming-Yueh. A bibliometric analysis of hydrogen energy literature, 1965–2005. *Scientometrics*, [s. l.], v. 75, n. 3, p. 421–438, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1785-x>. Acesso em: 2 ago. 2023.

UN, Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Goal 7 | Department of Economic and Social Affairs. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals/goal7>. Acesso em: 10 ago. 2023.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. WORLD SMALL HYDROPOWER DEVELOPMENT REPORT, 2019. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-08/Global_overview.pdf?_token=281556212. Acesso em: 4 ago. 2023.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. VOSviewer Manual. VOSviewer Manual, [s. l.], 2018.

VASSONEY, Erica *et al.* Comparing Multi-Criteria Decision-Making Methods for the Assessment of Flow Release Scenarios From Small Hydropower Plants in the Alpine Area. *Frontiers in Environmental Science*, [s. l.], v. 9, p. 635100, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.635100/full>. Acesso em: 10 ago. 2023.

YUCE, M. Ishak; YUCE, Simal. Pre-feasibility Assessment of Small Hydropower Projects in Turkey by RETScreen. *Journal (American Water Works Association)*, [s. l.], v. 108, n. 5, p. E269–E275, 2016.

ZHANG, Gangfeng; XIE, Shaodong; HO, Yuh-Shan. A bibliometric analysis of world volatile organic compounds research trends. *Scientometrics*, [s. l.], v. 83, n. 2, p. 477–492, 2009. Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/11192/83/2/article-p477.xml>. Acesso em: 2 ago. 2023.

ZHOU, Feng *et al.* Scientometric analysis of geostatistics using multivariate methods. *Scientometrics*, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 265–279, 2007. Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/11192/73/3/article-p265.xml>. Acesso em: 2 ago. 2023.

4. O impacto da instalação de usinas de energia sustentável na renda dos trabalhadores brasileiros: uma abordagem através do método de diferença em diferenças sintético

Resumo

Esta pesquisa avalia o impacto econômico da instalação das pequenas centrais hidrelétricas, das usinas térmicas de biomassas e as usinas eólicas em municípios brasileiros, com foco em (i) renda do trabalho, (ii) renda setorial do trabalho. Utilizamos dados municipais do Relatório Anual de Informações Sociais, da Agência Nacional de Energia Elétrica e do Instituto Nacional de Meteorologia, abrangendo o período de 2002 a 2011. A metodologia de Diferença em Diferenças Sintético é empregada para a análise empírica, e verificações de robustez são realizadas utilizando os métodos de Diferença em Diferenças Duplamente Robusto e a heterogeneidade no tratamento. As descobertas revelam que as instalações de a instalação de uma pequena central hidrelétrica em um município geram um impacto anual médio de aproximadamente R\$117,42, já as usinas térmicas de biomassa indicam um aumento significativo na média salarial de aproximadamente R\$301.37. Ambas usinas com benefícios notáveis observados para trabalhadores de diversos setores da economia. Por sua vez, as usinas eólicas não tiveram efeitos estatisticamente significativos registrados. Os testes de robustez corroboram e validam os resultados principais, enfatizando as implicações positivas da integração de energia renovável no desenvolvimento econômico nos municípios investigados.

Palavras-chave: Energia renovável; Renda; Trabalhadores brasileiros.

JEL: Q42, O15, C21

4.1. Introdução

A transição energética para fontes renováveis tem o potencial de proporcionar benefícios para diversos setores da economia, incluindo um aumento no crescimento econômico, a criação de empregos e um aumento na qualidade de vida local (IRENA, 2020; Yang; Dodge, 2024). Nesse contexto, os países têm procurado formas alternativas para a produção de energia, para suprir a demanda da indústria, agricultura, serviços e o comércio (NATHANIEL et al., 2021; PATA, 2018; AGUGLIARO et al., 2013). O Brasil, por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), implementado em 2002, destacou-se nesse cenário, por ser o maior programa de incentivo e promoção às fontes alternativas de energia elétrica do Brasil e do mundo. Tendo como objetivo principal a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, tais como as pequenas centrais hidrelétricas, as usinas térmicas de biomassas e as usinas eólicas (Brasil, 2002). Além da diversificação da matriz energética nacional, o PROINFA buscava fomentar a geração de empregos e o avanço da industrialização e a tecnologia de ponta para o setor, minimizando as emissões de gases de efeito estufa (Eletrobras, 2023). Até 31 de dezembro de 2011, o programa financiou um total de 119 empreendimentos, constituindo 59 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), 41 usinas eólicas e 19 usinas térmicas a biomassa. O estímulo a essas fontes é justificado devido à crise energética de 2001 no Brasil, a descarbonização do setor para a mitigação das mudanças climáticas e o fomento para a competitividade de fontes alternativas de energia (Dutra; Szklo, 2008; Lazaro et al., 2022). Além disso, o PROINFA desempenhou um papel fundamental ao financiar projetos alinhados aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil para combater as mudanças climáticas. Esses compromissos incluíam (i) reduzir as emissões de gases de efeito estufa, (ii) aumentar a participação de fontes renováveis na produção de energia, (iii) aumentar a participação de biocombustíveis sustentáveis e (iv) em alcançar emissões líquidas neutras até 2050 (BNDES, 2021).

As pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), têm sido amplamente adotadas em diversos países como uma aliada na produção e diversificação da matriz energética (Couto; Olden, 2018). Destaca-se que, por não emitirem gás carbônico durante a geração de energia, as PCHs alinham-se às metas de descarbonização do setor elétrico, promovendo a incorporação de fontes mais modernas de produção de energia (Wang; Wang; Li, 2022; World Energy Council, 2021). Além disso, essas usinas são caracterizadas por serem instalações de pequeno porte localizadas em rios, resultando em baixo impacto ambiental. A proximidade dessas instalações às unidades consumidoras contribui para um aproveitamento mais eficiente da energia gerada, minimizando perdas e custos adicionais, o que se configura como mais um estímulo para sua implementação. Adicionalmente, as PCHs têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento econômico em regiões remotas e rurais, gerando empregos e ampliando a renda local (Dursun; Gokcol, 2011; Hennig et al., 2013; Kaldellis, 2007; Kishore et al., 2021; Okot, 2013). As usinas de biomassa, por sua vez, surgem como uma fonte de energia renovável com o potencial significativo de contribuir para o alcance das metas de zero emissão (Awosusi et al., 2022; Yang; Dodge, 2024). Essas usinas desempenham um papel fundamental no suporte às bioeconomias circulares e destacam-se como uma das alternativas mais promissoras para substituir os combustíveis fósseis (Girard, 2022; Gregg et al., 2020). A geração de energia a partir de biomassa integra uma cadeia de produção complexa que pode resultar em diversos benefícios socioeconômicos para comunidades locais (Esmaeili; Rafei, 2021; Nunes et al., 2023). Diante desse cenário, torna-se importante investigar os efeitos da implementação das usinas biomassa nas localidades em que foram instaladas, dada a significativa relevância para o desenvolvimento econômico dos municípios (Awosusi et al., 2022; Kumar et al., 2021). Por

fim, as usinas eólicas têm sido uma característica dominante na expansão das energias renováveis em muitos países. A rápida evolução da energia eólica, passando de um nicho para uma fonte de energia global madura e competitiva em termos de custos, reflete o sucesso dessa tecnologia no cenário energético atual (GWEC, 2022). Atualmente, a energia eólica ocupa a posição de terceira maior fonte de energia renovável no mundo (IRENA, 2022b).

Esta pesquisa visa investigar o impacto da instalação das pequenas centrais hidrelétricas, das usinas térmicas de biomassas e das usinas eólicas na renda formal dos trabalhadores brasileiros. Adotamos uma abordagem detalhada para analisar os impactos resultantes da implementação e operação das usinas de energia na (i) renda do trabalho e na (ii) renda setorial do trabalho. Para conduzir essa avaliação, utilizamos dados municipais provenientes de diversas fontes, como o Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Previdência Social, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) do Ministério de Minas e Energia e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério da Agricultura e Pecuária. O conjunto de dados abrange o período de 2002 a 2011 e segue uma estrutura de dados em painel.

Adotamos a metodologia de Diferença em Diferenças Sintético proposta por Arkhangelsky et al. (2021) para conduzir a análise empírica. Também estratificamos a variável de tratamento em grupos, grupos com base no potencial de produção de energia para explorar os efeitos heterogêneos do tratamento. Para garantir a robustez das descobertas, empregamos o Estimador de Diferença em Diferenças Duplamente Robusto (Callaway & Sant'Anna, 2021) e a estratificação de acordo com a heterogeneidade da capacidade de produção. Posteriormente é feito uma análise de Diferença em Diferenças Sintético para as regiões do Brasil. Nosso objetivo é testar se a instalação dessas usinas gera efeitos na sobre a média da renda no mercado formal. Ao empregar um conjunto abrangente de dados e metodologias avançadas, contribuímos para uma compreensão mais aprofundada dos potenciais repercussões na renda do trabalho, renda setorial do trabalho e desigualdade de renda.

Nossas descobertas indicam que a instalação de uma pequena central hidrelétrica em um município gera um impacto anual médio de aproximadamente R\$117,42 na renda. Os principais setores afetados na implementação dessa usina são o setor agrícola com um aumento de R\$30.80, o setor de construção com aumento de R\$80.37, comércio com aumento de R\$16,69 e outros setores com aumento de R\$29.13. As usinas térmicas de biomassa indicam um aumento significativo na média salarial de aproximadamente R\$301.37. Onde os principais setores afetados são a agricultura com aumento de R\$63.79, indústria R\$160.10, construção R\$48.70 e outros setores R\$79.12. Os resultados também indicam efeitos heterogeneidade de acordo com a região em que foi instalada. Por sua vez, as usinas eólicas não tiveram efeitos estatisticamente significativos registrados.

Este artigo possui oito seções, além desta introdução. Na próxima seção, revisamos a literatura abordando a regulamentação para as energias renováveis no Brasil. Em seguida, apresentamos os dados. Subsequentemente, discutimos a metodologia de Diferença em Diferenças Sintético. Na quinta seção, apresentamos e discutimos os resultados. A análise de robustez está na seção subsequente. A sétima seção aborda uma análise de custo-benefício da instalação dessas usinas. Finalmente, apresentamos considerações finais.

4.2. Revisão da Literatura

4.2.1. A Regulação das Energias Renováveis no Brasil

O Brasil instituiu em 1981, a Lei Federal nº 6.938, a Política Nacional do Meio

Ambiente, definindo as condições gerais para a instalação de diversos empreendimentos inclusive os de energia renováveis. Essa lei foi regulamentada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução nº 237/1997, na qual são estabelecidas as etapas e documentos necessários para a obtenção de licenças. Além disso, é importante ressaltar que cada estado brasileiro possui regulamentações específicas que devem ser seguidas para a obtenção do licenciamento ambiental necessário para instalação do empreendimento.

A regulação do setor elétrico brasileiro é feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desde 1996, considerada autoridade superior do sistema de energia brasileiro. Subordinada ao Ministério de Minas e Energia (MME) e em suas atribuições estão fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em todo território nacional, observando a conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal (Brasil, 1997); (Brasil, 1996). Além de supervisionar diretamente ou mediante convenio com órgãos estaduais da federação as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica, estabelecer tarifas a serem praticadas, dirimir as divergências em âmbito administrativo entre agentes e consumidores, além de promover as entidades de outorgas e concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica. Outro órgão importante do sistema elétrico brasileiro é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país (Brasil, 2004). Esses órgãos desempenham funções cruciais para garantir a eficiência e a coordenação do setor elétrico brasileiro.

As regulamentações para a instalação de usinas de energias renováveis no Brasil variam conforme o tipo específico de usina, exigindo o cumprimento de distintos aspectos legais e normativos de acordo com a especificidade da instalação. As principais exigências regulatórias e institucionais são: (i) Cumprir com as obrigações ambientais, possuindo o Licenciamento Ambiental; (ii) Seguir as normas e diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); (iii) No caso de o agente desejar pleitear incentivos governamentais é necessário observar o contrato e cumprir suas normas específicas.

O financiamento para construção de usinas geradoras de energia pode ser obtido por meio de diversas fontes. Os recursos podem ser obtidos através de bancos públicos ou privado, bem como bancos de desenvolvimento com atuação em nível nacional ou regional. Dentre os bancos disponíveis no Brasil para captação de recursos, destaca-se o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que opera em âmbito nacional. O BNDES apresenta as melhores taxas e condições de juros para o financiamento de políticas públicas no território brasileiro, em sua atuação o BNDES é capaz de equalizar o acesso ao capital necessário para financiamento das obras de usinas de energia independentemente da localização. Além do BNDES bancos regionais e estaduais procuram realizar políticas de incentivo e desenvolvimento específicas. Destacando-se o Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG), o Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (BANDES) e o Banco de Desenvolvimento Regional do Extremo Sul (BRDE) e o Banco do Nordeste (BNB), com atuação regional.

O Brasil criou diversas leis, regulamentações e políticas públicas voltadas para a adoção e ampliação do uso das fontes renováveis. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado em 2002 pelo governo federal e financiado majoritariamente pelo BNDES, foi um marco significativo no cenário brasileiro e internacional. O PROINFA se destacou por ser o maior programa de estímulo e promoção às fontes alternativas de energia elétrica do Brasil e do mundo (Dutra; Szklo, 2008; Eletrobras, 2023). Tendo como objetivo principal a geração de energia elétrica a partir de

fontes renováveis e a diversificação da matriz energética nacional. Além de fomentar a geração de empregos e o avanço da industrialização e a tecnologia de ponta para o setor, minimizando as emissões de gases de efeito estufa.

Os projetos autorizados a captar recursos do PROINFA passavam por etapas após a seleção. Os empreendimentos celebravam contratos de compra de energia com a Eletrobras, estabelecendo condições financeiras e temporais específicas para a compra da energia gerada pela usina. Condições gerais para o acesso à rede elétrica brasileira por meio da microgeração e geração distribuída foram aprimoradas pela lei nº 14.300/2022 e regulamentada pela ANEEL. Estabelecendo tipos de produtores de energia, permitindo a autogeração de eletricidade e a compensação do excedente de energia injetado na rede, como (i) Autoconsumo local onde nesse contexto, o excedente de energia elétrica gerado por uma unidade consumidora, seja de titularidade de consumidor-gerador pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela própria unidade consumidora; (ii) Autoconsumo remoto onde todas as unidades consumidoras são atendidas pela mesma distribuidora e (iii) Consórcio de consumidores de energia elétrica onde pessoas físicas e/ou jurídicas consumidoras de energia elétrica, estão estabelecido com o propósito de gerar energia destinada ao consumo próprio. Nesse formato, todas as unidades consumidoras são atendidas pela mesma distribuidora (Brasil, 2022). Essas novas regras permitiram ainda mais benefícios aos investidores de energia sustentável no país.

Os programas de incentivos governamentais desempenharam um papel crucial ao fomentar investimentos e a promoção de fontes renováveis para a geração de eletricidade. Alinhando-se com as perspectivas futuras do Brasil para o setor energético de (i) reduzir as emissões de gases de efeito estufa, (ii) aumentar a participação de fontes renováveis na produção de energia, (iii) aumentar a participação de biocombustíveis sustentáveis e (iv) em alcançar emissões líquidas neutras até 2050 (BNDES, 2021). Em termos específicos, por exemplo o PROINFA, direcionou investimentos para a geração de energia através de pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas, e usinas eólicas. Até 31 de dezembro de 2011, o programa financiou um total de 119 empreendimentos, constituído por 41 usinas eólicas, 59 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 19 usinas térmicas de biomassa. O estímulo a essas fontes foi justificado devido à crise energética de 2001, a descarbonização do setor para a mitigação das mudanças climáticas e o fomento para a competitividade de fontes alternativas de energia (Dutra; Szklo, 2008; Lazaro *et al.*, 2022).

4.2.2. Pequenas Centrais Hidroelétricas, Usinas Térmicas de Biomassa e Usinas Eólicas

A geração de energia hidrelétrica é realizada por meio do represamento ou desvio de rios, direcionando o fluxo de água para turbinas que estão conectadas a geradores. Trata-se de uma fonte de produção de energia renovável amplamente empregada em muitos países. As pequenas centrais hidrelétricas (PCH), exemplificam a aplicação da utilização dessa fonte, essas usinas possuem diversos tamanhos, e normalmente são operadas por agentes privados para consumo próprio ou para venda de energia a empresas de serviços públicos. A classificação e definição de uma PCH depende de cada país, no Brasil, a autarquia responsável por fiscalizar e regulamentar o setor, classifica uma usina como PCH aquelas que possuem potência superior a 5 MW e igual ou inferior a 50 MW (ANEEL, 2020). No entanto, é largamente aceito pelas agências internacionais que a classificação de uma PCH, sejam unidades que possuam a capacidade total de até 10 MW (Couto; Olden, 2018; Paish, 2002; Panić *et al.*, 2013).

Existem três formas principais para a construção de uma pequena central hidrelétrica: (i) o represamento, cria-se uma barragem que armazena a água do rio no reservatório, e a

água represada é direcionada para as turbinas para a geração de energia; (ii) Desvio, a margem do rio é canalizada por um desvio, e com o auxílio de um condutor forçado ou até mesmo um canal artificial leva-se a água para as turbinas para a geração de energia, ressalta-se que esse modelo de PCH não utiliza o represamento da água. (iii) fio d'água, emprega-se um pequeno represamento do rio, fazendo-o operar em sua vazão natural, assim, leva-se a água para as turbinas para a geração de energia, esse modelo está suscetível a sazonalidade dos rios em que é instalado (ANEEL, 2020; Ferreira *et al.*, 2016; Paish, 2002). Em geral, o princípio básico para a produção de energia em uma PCH envolve a captação da energia cinética da água, que movimenta as turbinas, transformando-a em energia elétrica. Antes de chegar às turbinas, a água passa por um reservatório de decantação para remover sedimentos sólidos e partículas suspensas. Posteriormente, a água é encaminhada para as turbinas para a geração de energia (Paish, 2002).

A geração de energia provenientes das usinas térmicas de biomassas é feita através da queima controlada ou decomposição de materiais orgânicos, tais como lenha, bagaço de cana-de-açúcar, papel e papelão usados, serragem, galhos e folhas de árvores, cascas de arroz e lodo de estações de tratamento de águas residuais entre outros resíduos agrícolas, resíduos florestais ou culturas energéticas. Esses combustíveis são queimados em uma caldeira para produzir vapor. Esse vapor é então encaminhado para turbinas que convertem a energia térmica em eletricidade (Uchino *et al.*, 2023). O Brasil, possui condição edafoclimáticas favoráveis para plantio da matéria prima que permite o abastecimento das usinas de biomassas (MME; EPE, 2020). Além disso, a energia derivada de biomassa é considerada renovável, embora seja essencial garantir uma produção sustentável. É importante notar que, embora a geração de energia térmica geralmente ocorra pela combustão de combustíveis fósseis em usinas térmicas, também é possível obter energia térmica por meio da queima de biomassa. Diante dessas particularidades, a bioenergia pode representar uma alternativa promissora para a geração de energia mais sustentável (Lund *et al.*, 2022; Sun; Peng, 2023).

As usinas de biomassa em menor escala, por exemplo plantas de bioenergia ou cogeração, normalmente produzem entre 1 MW a 10 MW de energia. Essas usinas tem como proposito atender demandas específicas seja em indústrias, comunidades rurais ou complexos agroindustriais, fornecendo eletricidade e calor para processos industriais ou sistemas de aquecimento. Por outro lado, as usinas termelétricas de biomassa possuem capacidade de geração maior de energia variando de dezenas a centenas de megawatts de energia. O objetivo central dessas instalações é de fornecer eletricidade a uma área mais ampla da região (Uhr; Cordeiro; Uhr, 2023).

A produção de energia eólica depende da força do vento, para movimentar as lâminas das turbinas eólicas, transformando a energia cinética resultante em eletricidade (Sawant *et al.*, 2021). Esta forma de geração de energia é classificada como renovável, sendo notável sua expansão global. Nos últimos anos, a energia eólica tem desempenhado um papel destacado no contexto brasileiro, impulsionada, em grande parte, por incentivos governamentais destinados a estimular a produção de energia em pequena escala (Blanco, 2009). As condições propícias para a geração de energia eólica no Brasil, como a presença de ventos favoráveis em diversas regiões, têm contribuído para o seu crescimento. Ademais, a utilização dessa forma de energia tem atendido às demandas de diversos setores, consolidando-se como uma alternativa sustentável e diversificada para o suprimento energético em diferentes segmentos da sociedade. Este fenômeno destaca-se não apenas como uma resposta às preocupações ambientais, mas também como um elemento impulsionador do desenvolvimento tecnológico e econômico, alinhando-se aos objetivos de transição para fontes mais limpas e eficientes (de Bona; Ferreira; Ordoñez Duran, 2021).

4.2.3. O Impacto Socioeconômicos e Hipóteses de Pesquisa

A implementação de uma pequena central hidrelétrica, de uma usina térmica de biomassa ou de uma usina eólica pode gerar efeitos socioeconômicos positivos e negativos, dependendo das características específicas do contexto local. Inicialmente, a construção e operação dessas usinas têm o potencial de gerar oportunidades de emprego diretas e indiretas na região. A construção da usina pode demandar mão de obra local, envolvendo serviços como transporte e construção. Além disso, a operação contínua requer trabalhadores para manutenção, monitoramento e gestão. Dessa forma, a presença de uma usina no município pode contribuir para o desenvolvimento econômico local, mitigando as taxas de desemprego e elevando a qualidade de vida na região. Esses benefícios podem se refletir no aumento da renda média municipal, no crescimento da renda formal. No entanto, é importante observar que, se o município não dispuser de uma força de trabalho suficiente em todos os setores econômicos, transferências de trabalhadores entre setores podem impactar negativamente a renda em segmentos específicos.

A instalação de PCHs pode contribuir com o desenvolvimento local, principalmente, ao ser construído barragens de pequeno e médio porte em regiões tanto rurais, remotas e sem eletrificação, quanto regiões próximas a centros urbanos (Alam *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). A construção das PCHs pode envolver mão de obra especializada do setor de construção, para realização das instalações da usina. Além de poder beneficiar o setor agrícola com o uso da água para abastecimento das plantações e também, de potencialmente reduzir os custos da energia para os produtores e consumidores finais (Dursun; Gokcol, 2011; Hennig *et al.*, 2013; Kaldellis, 2007; Kishore *et al.*, 2021; Okot, 2013). Ademais, devido ao fato de estarem em locais mais isolados permite que a energia fique mais próxima das unidades consumidoras, que são as fazendas e pequenas comunidades rurais, ocasionado na diminuição dos custos de transmissão de energia. Os produtores também podem criar cooperativas para construir as usinas e dividirem os custos de geração (Alam *et al.*, 2021). Além desses mecanismos de geração de renda outros estudos mostram que as PCHs também podem gerar benefícios ecológicos, melhoria da infraestrutura local com aprimoramento das estradas, abastecimento de água, redes elétricas e comunicações, além da segurança energética e afetar o diferencial de salários entre gêneros (Alam *et al.*, 2021; Barros; Tiago Filho, 2012; Ferreira *et al.*, 2016; Kong *et al.*, 2015; Nautiyal *et al.*, 2011; Ugwu; Ozor; Mbohwa, 2022; Zhang *et al.*, 2015, 2021).

A usina de biomassa utiliza materiais orgânicos, como resíduos agrícolas, detritos florestais e culturas energéticas, que podem ser obtidos de forma contínua para a produção de energia (Chen *et al.*, 2021; Lachman *et al.*, 2021; Parikka, 2004). Isso à diferencia das fontes de energia que utilizam combustíveis fósseis, que têm disponibilidade limitada além de emitirem gás carbônico (Alola; Adebayo, 2023; Gustavsson *et al.*, 1995; Masnadi *et al.*, 2015). Ademais, essas usinas podem contribuir para o desenvolvimento local promovendo a criação de emprego e a geração de renda, fortalecendo as economias regionais por meio de aumento da dinâmica econômica e eficiência energética de outros setores produtivos à medida que utiliza resíduos e insumos de outras cadeias produtivas locais, como por exemplo, resíduos do setor agrícola e da indústria de alimentos e demanda por maquinários como motores, peças, e caldeiras metálicas (Antar *et al.*, 2021; Bilgili; Ozturk, 2015, 2015; Nosheen; Khan, 2022; Shahbaz *et al.*, 2016). Além disso, a implementação da usina biomassa, exige mão de obra qualificada para a instalação, manutenção e operação podendo contribuir para o aumento da renda do setor de construção, além disso, as cinzas de alguns combustíveis utilizados para abastecer as plantas de biomassas também podem produzir um ampla variedade de subprodutos ao ser vendido para o setor de construção, utilizando na incorporação para a fabricação de cimento, concreto e tijolos além de outros

bioprodutos (Domac; Richards; Risovic, 2005; Duque-Acevedo *et al.*, 2022, 2022; Jyothsna; Bahurudeen; K Sahu, 2024; Sherwood, 2020). Para além desses mecanismos as usinas biomassas também podem contribuir na transição energética para matrizes mais renováveis, auxiliar na arrecadação de impostos e taxas que podem ser direcionadas para investimentos sociais, como educação, saúde, infraestrutura social e programas de desenvolvimento local, contribuindo para o bem-estar geral da comunidade, além de ter a capacidade de se tornar rentável ao longo do tempo tanto em termos de Valor Presente Líquido (VAL) como de Taxa Interna de Retorno (TIR) (Sgroi; Donia; Alesi, 2018; Uhr; Cordeiro; Uhr, 2023).

As usinas eólicas dependem da força dos ventos para a geração de energia. E para uma geração eficiente alguns fatos são importantes, como as características específicas locais, a velocidade do vento, facilidade de acesso para instalação entre outros fatores (Jahangiri *et al.*, 2016; Ribeiro; Arouca; Coelho, 2016). De maneira geral, a instalação de usinas eólicas tem o potencial de modificar a composição de empregos locais, transitando de atividades agrícolas para setores não agrícolas, destacando-se o aumento do emprego na construção e na indústria, assim localidades rurais com múltiplas instalações podem se beneficiar mais. O aumento desses setores começa já na fase de instalação da usina eólica e se mantém durante a fase de operação. Além do mais, os efeitos no rendimento e emprego efetivam durante a fase de construção, quando os trabalhadores iniciam os trabalhos e há o pagamento pelo arrendamento da terra (Brunner; Schwegman, 2022). Ademais, a instalação das usinas eólicas, dependendo das características das locais, necessitando de mão de obra local ou vizinha especializada, isso pode acarretar em um trasbordamento dos efeitos para os municípios vizinhos. No Brasil, por exemplo, as regiões mais propícias para esse tipo de instalação são as região Nordeste e Sul, e o estudo feito por GONÇALVES, RODRIGUES e CHAGAS, 2020, para o Brasil, mensurando o impacto da energia eólica no mercado de trabalho brasileiro entre os anos 2004 e 2016, concluiu que há um efeito direto no aumento do emprego no setor da indústria, agricultura e na construção, e também efeitos de aumento indireto. Esses efeitos são sentidos principalmente por trabalhadores com menos escolaridade e das pequenas e médias empresas. Para além desses mecanismos, há uma literatura que investigou o impacto das usinas de energia eólica nos valores das propriedades onde elas são instaladas e nas regiões vizinhas (Hoen *et al.*, 2015; Jensen *et al.*, 2018; Lang; Opaluch; Sfinarolakis, 2014), e também, estudos que examinaram o desenvolvimento em estados ou regiões específicas (Brunner; Schwegman, 2022) mostrando que há um aumento no valor dessas propriedades.

Portanto, o objetivo desse artigo é identificar o impacto da instalação das usinas de energias sustentáveis no Brasil. Para tanto vamos aproveitar um período histórico específico onde houve uma política contínua de financiamento e incentivos do governo federal para a instalação de pequenas centrais hidrelétricas, usinas biomassas e usinas eólicas. O Brasil é um país continental com múltiplas características geográficas, logo aproveitar o período que os incentivos públicos foram homogêneos em todo o território brasileiro é importante para testar as seguintes hipóteses:

- Hipótese 1: A instalação de usinas de energias sustentáveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas, e usinas eólicas) aumentou os salários médio dos trabalhadores formais no município receptor.
- Hipótese 2: A instalação de usinas de energias sustentáveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas, e usinas eólicas) afetou os salários médios dos trabalhadores formais em diferentes setores (Agricultura, Indústria, Construção, Serviços, Negócios e Outros) no município receptor.

4.3. Dados

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos de diferentes órgãos e instituições brasileiras, como Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), do Ministério de Minas e Energia, e o Instituto de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura e Pecuária. Este conjunto de dados abrange uma estrutura de dados municipais em painel que se estende de 2002 a 2011. A escolha desses anos foi intencional, e recai sobre o fato que entre 2002 e 2011 o governo federal manteve estável sua política de incentivo a instalações de fontes sustentável (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA).

Para analisar empiricamente as hipóteses formuladas neste estudo, utilizaremos diversas variáveis de resultado provenientes do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS). Essas variáveis abrangem elementos relacionados à renda e aos setores econômicos em âmbito municipal. Especificamente, pretendemos utilizar as seguintes variáveis de resultado: (i) Renda média no município, (ii) Renda média no setor agrícola no município, (iii) Renda média no setor industrial no município, (iv) Renda média no setor da construção no município, (v) Renda média no setor de serviços no município, (vi) Renda média no setor de negócios no município e (vii) Renda média no setor outros no município. Adicionalmente utilizamos as covariáveis médias associadas ao nível educacional, categorizando-as de acordo com diferentes estratos de trabalhadores, tais como: Analfabetos, Ensino Fundamental, Ensino Médio e Ensino Universitário. Os setores da economia foram classificados com base nos códigos CNAE 2.0 (Agricultura, Indústria, Construção, Serviços, Negócios e Outros). O setor "Outros" corresponde a atividades como administrativas e serviços complementares, administração pública, defesa e seguridade social, artes, cultura, esporte e recreação, e organizações internacionais. Além disso, para refletir o poder de compra e o valor real da renda ao longo do período analisado nesse estudo, a inflação foi considerada e todas as variáveis foram deflacionadas utilizando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano base de 2020.

A variável de tratamento identifica se um município recebeu uma pequena central hidrelétrica, uma usina térmica de biomassa ou uma usina eólica, permitindo uma análise comparativa entre grupos tratados e de controle. Para alcançar esse propósito, foi estabelecida uma variável identificadora específica para cada tipo de usina, indicando os municípios que receberam exclusivamente uma usina durante o período analisado. Adicionalmente, é controlado os municípios que receberam diferentes usinas renováveis no mesmo período. Posteriormente foram criadas grupos com base em seu potencial de geração de energia, possibilitando uma análise mais detalhada dos efeitos de diferentes capacidades de usinas nas variáveis de resultado. Assim os grupos são definidos da seguinte forma: para as pequenas centrais hidrelétricas (i) até 15 MW; (ii) maior que 15 MW. Para usinas térmicas de biomassa, o potencial de geração foi categorizado como (i) até 50 megawatts, (ii) Entre 50 e 100 MW e (iii) maior de 100 MW. E as usinas eólicas, o potencial de geração foi estratificado em (i) até 50 MW e (ii) maior que 50 megawatts. Ao estruturar a variável de tratamento nessas distintas categorias, a pesquisa visa explorar variações potenciais no impacto da instalação de usinas de energia nas variáveis de resultado em diferentes capacidades de usinas. Adicionalmente, a inclusão de covariáveis ambientais do INMET, como radiação solar, temperatura, umidade relativa, rajada de vento e velocidade do vento, servem para caracterizar o ambiente do município. Tais fatores ambientais não apenas influenciam o desempenho e a eficiência das usinas de energia, mas também podem ter implicações para a economia local e a força de trabalho. Na tabela 1 é apresentado as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas nesse estudo.

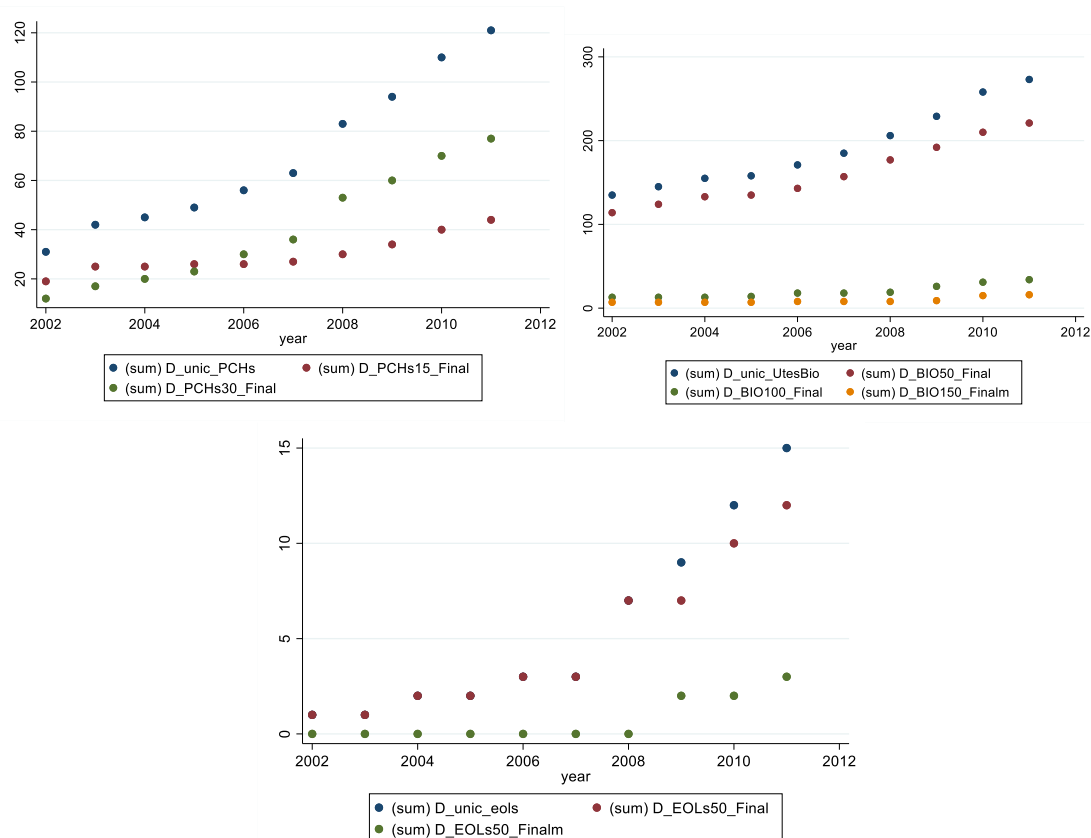
Tabela 1 – Estatísticas Descritivas

Variáveis	Tratada			Controles			Amostra		
	PCHs	Biomassas	Eólicas	PCHs	Biomassas	Eólicas	PCHs	Biomassas	Eólicas
Variáveis de Resultado									
Renda	4354.89 (1508.20)	4890.64 (1662.18)	3790.17 (1430.15)	3867.15 (1658.24)	3828.56 (1635.82)	3882.584 (1656.868)	3867.18 (1654.47)	3835.88 (1635.61)	3880.60 (1653.42)
Agricultura	579.98 (232.05)	664.46 (273.99)	498.74 (234.80)	490.43 (286.46)	484.07 (282.29)	492.8612 (285.3715)	490.57 (285.60)	485.27 (281.91)	492.79 (285.44)
Industria	675.69 (365.87)	884.31 (444.15)	769.60 (727.92)	581.38 (510.39)	566.77 (501.66)	584.252 (506.761)	581.20 (508.35)	568.33 (500.64)	583.35 (501.15)
Construção	584.74 (518.94)	691.50 (702.85)	457.61 (317.87)	464.21 (525.53)	456.40 (518.71)	468.426 (525.7478)	463.56 (524.68)	458.47 (525.89)	468.03 (525.49)
Serviços	949.34 (429.31)	988.58 (448.78)	799.80 (303.47)	971.65 (551.47)	971.07 (555.11)	971.1472 (548.5395)	971.24 (550.82)	971.86 (555.36)	970.92 (548.39)
Comercio	612.38 (198.85)	635.08 (190.35)	507.17 (150.03)	558.30 (237.03)	555.19 (235.69)	560.1004 (236.3914)	558.69 (236.70)	555.47 (234.70)	559.93 (236.28)
Outros	952.73 (410.80)	1026.68 (453.05)	757.23 (426.62)	801.15 (410.84)	795.05 (406.49)	805.7977 (411.6923)	801.90 (410.45)	796.47 (406.26)	805.55 (411.84)
Variáveis de Tratamento									
Pequenas Centrais Hidrelétricas	0.26 (0.44)	-	-	0	-	-	0.006 (0.08)	-	-
Pequenas C. Hidrelétricas 15MW	0.07 (0.26)	-	-	0	-	-	0.001 (0.04)	-	-
Pequenas C. Hidrelétricas 15-30MW	0.18 (0.38)	-	-	0	-	-	0.004 (0.06)	-	-
Usina de Biomassa	-	0.41 (0.49)	-	-	0	-	-	0.01 (0.10)	-
Usina de Biomassa – 50MW	-	0.34 (0.47)	-	-	0	-	-	0.008 (0.09)	-
Usina de Biomassa – 50-100MW	-	0.04 (0.20)	-	-	0	-	-	0.001 (0.03)	-
Usina de Biomassa – maior 100MW	-	0.01 (0.12)	-	-	0	-	-	0.0004 (0.02)	-

Usina Eólica	-	-	0.32 (0.46)	-	-	0 0	-	-	0.0008 (0.028)
Usina Eólica – 50-100MW	-	-	0.27 (0.44)	-	-	0 0	-	-	0.0006 (0.02)
Usina Eólica – 100-500MW	-	-	0.05 (0.21)	-	-	0 0	-	-	0.0001 (0.01)
Covariáveis									
Analfabetos	0.013 (0.02)	0.02 (0.05)	0.02 (0.04)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)
Ensino Fundamental	0.50 (0.13)	0.53 (0.14)	0.37 (0.12)	0.46 (0.15)	0.46 (0.15)	0.46 (0.15)	0.46 (0.15)	0.46 (0.15)	0.46 (0.15)
Ensino Médio	0.36 (0.10)	0.34 (0.12)	0.47 (0.15)	0.39 (0.14)	0.39 (0.14)	0.39 (0.14)	0.39 (0.14)	0.39 (0.14)	0.39 (0.14)
Ensino Superior	0.11 (0.05)	0.09 (0.04)	0.12 (0.07)	0.12 (0.08)	0.12 (0.08)	0.12 (0.08)	0.12 (0.08)	0.12 (0.08)	0.12 (0.08)
Radiação solar	1365.10 (908.00)	1591.46 (1931.94)	4341.04 (6237.1)	1709.43 (2253.19)	1703.54 (2231.47)	1692.31 (2201.84)	1702.79 (2235.90)	1704.53 (2234.99)	1699.61 (2227.58)
Temperatura	21.76 (3.47)	23.70 (2.98)	26.29 (2.18)	23.80 (3.43)	23.75 (3.46)	23.73 (3.45)	23.77 (3.44)	23.75 (3.46)	23.74 (3.44)
Humidade relativa	76.33 (7.71)	73.66 (7.06)	76.36 (5.57)	74.44 (8.36)	74.52 (8.34)	74.49 (8.36)	74.45 (8.35)	74.51 (8.34)	74.49 (8.36)
Rajada de Vento	4.82 (1.49)	4.93 (1.16)	7.05 (1.15)	5.03 (1.36)	5.03 (1.37)	5.02 (1.36)	5.03 (1.37)	5.03 (1.37)	5.02 (1.36)
Velocidade do vento	2.08 (1.00)	2.11 (0.82)	3.55 (0.90)	2.12 (0.87)	2.12 (0.88)	2.11 (0.87)	2.12 (0.87)	2.12 (0.88)	2.11 (0.87)

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Nota:** Esta tabela apresenta estatísticas descritivas para o grupo tratado, grupo controle e amostra completa, desvio padrão entre parênteses

Figura 1 – Evolução da instalação de usinas de energia sustentável no Brasil



Fonte: Figura elaborada pelos autores com base nos dados. Nota: Evolução das pequenas centrais hidrelétricas, biomassa e eólicas no Brasil, respectivamente

As Figuras 1, 2 e 3 ilustram a evolução cronológica das instalações de usinas de energia de pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassa e usinas eólicas no Brasil. Os dados apresentados na figura abrangem apenas as pequenas centrais hidrelétricas, as usinas de biomassa e usinas eólicas instaladas no período de 2002 a 2011. Além disso, para isolar o efeito da instalação de apenas uma usina em cada município, a análise se concentra exclusivamente nos municípios que receberam uma usina de energia renovável dentro do período de instalação especificado.

4.4. Método

O estudo de Arkhangelsky et al., 2021 propõe o estimador de Diferença em Diferenças Sintético (SDD), que combina as vantagens do método de Diferença em Diferenças (DD) e do Método de Controle Sintético (SCM). Assim como os modelos DD, o SDD permite que unidades tratadas e de controle tenham tendências distintas pré-intervenção. Além disso, assim como o SCM, o SDD visa gerar uma unidade de controle correspondente de forma ótima, reduzindo substancialmente a necessidade de assumir tendências paralelas. Por outro lado, o SDD evita as armadilhas comuns do DD e do SCM. No caso do DD, a incapacidade de estimar relações causais se a suposição de tendências paralelas não for atendida em dados agregados e a exigência de que a unidade

tratada seja alocada dentro de uma "combinação convexa" das unidades de controle no caso do SCM.

O objetivo do SDD é estimar consistentemente o efeito causal de receber a variável de tratamento D_{it} , (efeito médio do tratamento nos tratados - ATT). A estimativa de ATT procede da seguinte forma:

$$(\hat{\beta}^{sdd}, \hat{\mu}, \hat{\alpha}, \hat{\tau}) = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (Y_{it} - \mu - \alpha_i - \tau_t - D_{it}\beta)^2 \hat{w}_i^{sdd} \hat{\gamma}_t^{sdd} \quad (1)$$

Estimado por efeitos fixos bidirecionais (TWFE), com pesos ótimos³ ($\hat{w}_i^{sdd}$ e $\hat{\gamma}_t^{sdd}$). Efeitos fixos individuais implicam que o SDD buscará igualar unidades tratadas e de controle nas tendências pré-tratamento, não necessariamente nas tendências e níveis pré-tratamento, permitindo uma diferença constante entre unidades de tratamento e controle.

Para identificar o impacto da instalação das pequenas centrais hidrelétricas, das térmicas de biomassa e as usinas eólicas no desenvolvimento econômico dos municípios brasileiros, D_{it} assume o valor de um quando o município tratado tem uma usina em funcionamento e zero caso contrário. Especificamente, a variável identifica apenas os municípios que receberam a instalação de uma única usina (desconsideramos da análise os municípios sempre tratados ou aqueles com mais de uma usina instalada). Além disso, para uma análise heterogênea, criamos outras variáveis de tratamento para identificar o efeito específico devido ao tamanho da usina. A variável de resultado Y_{it} englobará diferentes medidas de renda. Por fim, α_i controla os efeitos fixos do município, e τ_t captura os efeitos fixos temporais.

O SDD não requer o uso de covariáveis. Pelo contrário, ao usar covariáveis, o modelo muda, e o estimador é calculado nos resíduos da variável dependente. Assim, o uso de covariáveis pode ser compreendido como uma tarefa de pré-processamento, que remove o impacto das mudanças nas covariáveis sobre o resultado Y_{it} antes de calcular o controle sintético. Para uma robustez nos resultados realizamos o SDD sem e com covariáveis como uma identificação adequada e comparação com os modelos propostos na análise de robustez.

4.5. Resultados e Discussões

4.5.1 Diferença em Diferenças Sintético sem Covariáveis

A Tabela 2 mostram o efeito na instalação sobre a média da renda formal de emprego (coluna 1), seguida pelas colunas 2 a 7, que exibem os salários setoriais, agricultura, indústria, construção, serviços, comércio e outros. Assim a tabela apresenta três painéis. No painel A, é demonstrado os resultados para a variável de tratamento que identifica a instalação de pequenas centrais hidrelétricas no município. No painel B, são apresentados os resultados para as usinas termoeletricas de biomassas, enquanto no painel C, são exibidos os resultados para as usinas eólicas. É importante destacar que os resultados apresentados nos painéis A, B e C não consideram o potencial de geração de energia de cada usina.

³ The procedure to identify the optimal weights can be found in Arkhangelsky et al. (2021), pages 4091 and 4092.

Tabela 2 – Diferença em Diferenças Sintética

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Pequena Central Hidrelétrica							
Efeito	117.42**	30.80***	29.40	80.37**	-16.65	16.69*	29.13*
P-valor	(0.025)	(0.000)	(0.204)	(0.018)	(0.445)	(0.087)	(0.059)
Std. Error	52.55	5.42	23.16	33.95	21.80	9.75	15.42
t-stat	2.23	5.68	1.27	2.37	-0.76	1.71	1.89
B. Usina Térmica de Biomassa							
Efeito	301.37***	63.79***	160.10***	48.70**	-24.84*	1.26	79.12***
P-valor	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.029)	(0.063)	(0.871)	(0.000)
Std. Error	48.42	12.69	28.59	22.24	13.35	7.78	14.16
t-stat	6.22	5.02	5.60	2.19	-1.86	0.16	5.58
C. Usinas Eólica							
Efeito	-6.98	-5.35	48.29	38.33	-39.68	-8.77	-7.69
P-valor	(0.957)	(0.825)	(0.705)	(0.643)	(0.327)	(0.525)	(0.699)
Std. Error	129.49	24.26	127.47	82.82	40.47	13.80	19.88
t-stat	-0.05	-0.22	0.38	0.46	-0.98	-0.64	-0.39

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela apresenta estimativas do efeito das energias sustentáveis na renda média salarial dos municípios brasileiros. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

O Painel A expõem que a implementação de uma pequena central hidroelétrica no município resulta em um aumento na renda dos trabalhadores em aproximadamente R\$117,42 (coluna 1). Este aumento é distribuído entre o setor de agricultura (coluna 2) com um nível de significância de 1%, o setor de construção (coluna 4) com um nível de significância de 5% e os setores de comércio e outros (coluna 6 e 7 respectivamente) com um nível de significância de 10%. Destaca-se um aumento significativo na renda no setor da agricultura, que representa aproximadamente 26,23% do total.

O Painel B mostra que a instalação de uma usina termoeletricas de biomassas no município aumenta a renda dos trabalhadores em aproximadamente R\$301.37 (coluna 1). Este acréscimo é distribuído entre os setores agricultura (R\$ 63.79), indústria (R\$160.10), construção (R\$48.70) e outros (R\$79.12) com um nível de significância de 1%. Ademais, observa-se uma redução na renda do setor de serviços de aproximadamente R\$24.84 a um nível de confiança de 10%, sendo considerado um erro tipo 1.

O Painel C mostra que os efeitos decorrentes da instalação de uma usina eólicas no município não apresentam significância estatística em nenhum nível de confiança, utilizando o modelo proposto por Arkhangelsky et al. (2021). Dessa forma, conforme as evidências apresentadas, a implementação dessas usinas não é associada a um aumento estatisticamente significativo na renda dos trabalhadores formais do setor da agricultura, indústria, construção, serviços, comércio, outros.

Referente as hipóteses levantadas na seção 2.3., os resultados corroboram com a hipótese de que a instalação de usinas de energias renováveis afeta os salários médios dos trabalhadores formais no município beneficiado (Hipótese 1). Evidencia-se a validade dessa hipótese no contexto da implementação de pequenas centrais hidrelétricas e usinas termoeletricas de biomassas, gerando um efeito médio anual de aproximadamente R\$117,42 e

R\$301,37, respectivamente. Os resultados também corroboram a hipótese 2, de que o efeito é diferente entre os setores da economia. Isso é importante porque possibilita uma melhor compreensão dos mecanismos de distribuição de renda na economia beneficiada.

4.5.2 Diferença em Diferenças Sintético com Covariáveis

Nessa seção utilizamos as covariáveis de educação (analfabetos, ensino fundamental, ensino médio, ensino superior) e covariáveis meteorológicas (radiação solar, temperatura, humidade relativa, rajada de vento e velocidade do vento) para aprimorar a análise. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise de Diferenças em Diferenças Sintéticas com covariáveis para as diferentes fontes de energia sustentável.

Tabela 3 – Diferença em Diferenças Sintética com Covariáveis

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Pequena Central Hidrelétrica							
Efeito	114.28**	29.36***	26.56*	80.07***	-16.77	17.04*	28.06
P-valor	(0.029)	(0.000)	(0.097)	(0.004)	(0.393)	(0.084)	(0.109)
Std. Error	52.38	5.16	15.99	27.75	19.63	9.85	17.51
t-stat	2.18	5.69	1.66	2.89	-0.85	1.73	1.60
B. Usina Térmica de Biomassa							
Efeito	297.37***	62.04***	155.52***	39.99**	-15.53	1.98	79.96***
P-valor	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.038)	(0.194)	(0.837)	(0.000)
Std. Error	30.72	7.65	28.39	19.28	11.94	9.67	9.36
t-stat	9.68	8.11	5.48	2.07	-1.30	0.21	8.54
C. Usinas Eólica							
Efeito	3.62	-3.33	53.23	32.21	-37.96	-6.57	-2.46
P-valor	(0.981)	(0.891)	(0.738)	(0.688)	(0.304)	(0.302)	(0.898)
Std. Error	154.23	24.33	159.36	80.18	36.90	6.36	19.22
t-stat	0.02	-0.14	0.33	0.40	-1.03	-1.03	-0.13

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela apresenta estimativas do efeito da instalação de energias sustentáveis na renda média salarial dos municípios brasileiros com método de Diferença em Diferenças Sintético com Covariáveis. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

É possível visualizar os resultados para a renda média e setorial mantiveram consistente para a geração de energia por Pequenas Centrais Hidrelétricas (SHP), observou-se um efeito estatisticamente significativo no aumento do salário médio em setores como agricultura, indústria, construção e comércio. Já para a biomassa, os resultados revelaram efeitos nos setores de agricultura, indústria, construção e outros, não apresentando mais uma redução no setor de serviços. Por outro lado, a energia eólica apresentou resultados não estatisticamente significativos em todos os setores. Dessa forma, os resultados da análise de Diferenças em Diferenças Sintéticas com covariáveis corrobora com os achados da tabela 2.

4.6. Análise de Robustez

Nesta seção, para colocar os resultados encontrados anteriormente a

prova, propomos como estratégia de robustez a análise heterogênea do tratamento. Tal abordagem se justifica pelas diferenças no potencial de geração das plantas de pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas e usinas eólicas, assim, segmentando os diferentes níveis segundo o potencial de geração de cada planta permitirá uma avaliação mais precisa dos efeitos das diferentes fontes e potência de energia renovável sobre o salário médio dos trabalhadores brasileiros. Como segunda estratégia de robustez, realizamos análise heterogênea regional ao avaliar os impactos do desenvolvimento decorrentes da instalação dessas usinas nas diferentes regiões brasileira. Isso se justifica devido a diversidade geográfica e as características específicas dos municípios no qual essas usinas são instaladas.

4.6.1 Análise Heterogênea do Tratamento

A tabela 4 apresenta os resultados da análise utilizando a abordagem de Diferença em Diferenças Sintético sem covariáveis para avaliar os efeitos da instalação de diferentes tipos de usinas e potencial de geração de energia sobre o salário médio dos trabalhadores brasileiros, estratificando por setores econômicos. Cada subseção da tabela refere-se a um tipo específico de usina, e os valores reportados representam os efeitos médios do tratamento para cada categoria.

Tabela 4 – Diferença em Diferenças Sintético com heterogeneidade no tratamento

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Indústria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Pequena Central Hidrelétrica até 15MW							
Efeito	127.60	51.84***	11.25	123.85***	-36.02	10.02	20.55
P-valor	(0.120)	(0.000)	(0.682)	(0.006)	(0.181)	(0.495)	(0.356)
Std. Error	82.15	9.86	27.48	45.50	26.93	14.70	22.28
t-stat	1.55	5.26	0.41	2.72	-1.34	0.68	0.92
B. Pequena Central Hidrelétrica entre 15MW - 30MW							
Efeito	133.20*	20.19**	41.23	76.65*	1.52	22.30*	43.43*
P-valor	(0.055)	(0.022)	(0.242)	(0.078)	(0.958)	(0.060)	(0.065)
Std. Error	69.37	8.81	35.24	43.54	28.86	11.87	23.57
t-stat	1.92	2.29	1.17	1.76	0.05	1.88	1.84
C. Usina Térmica de Biomassa até 50MW							
Efeito	238.18***	52.10***	133.25***	42.83*	-33.43	-1.69	79.58***
P-valor	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.097)	(0.124)	(0.818)	(0.000)
Std. Error	59.13	10.41	27.84	25.80	21.75	7.37	20.28
t-stat	4.03	5.00	4.79	1.66	-1.54	-0.23	3.92
D. Usina Térmica de Biomassa entre 50MW - 100MW							
Efeito	644.02***	152.193***	249.90***	196.14***	23.48	13.17	0.288**
P-valor	(0.000)	(0.001)	(0.000)	(0.003)	(0.461)	(0.288)	(0.036)
Std. Error	139.02	45.51	52.45	65.40	31.89	12.39	24.95
t-stat	4.63	3.34	4.76	3.00	0.74	1.06	2.09
E. Usina Térmica de Biomassa maior que 100MW							
Efeito	848.01***	53.07	510.90**	104.01	40.92	26.13	136.73
P-valor	(0.000)	(0.642)	(0.025)	(0.334)	(0.217)	(0.173)	(0.000)
Std. Error	127.27	114.04	228.06	107.63	33.13	19.19	27.43
t-stat	6.66	0.47	2.24	0.97	1.23	1.36	4.98
F. Usinas Eólica até 50 MW							
Efeito	-15.01	-7.35	51.10	36.92	-45.28	0.85	-15.07
P-valor	(0.901)	(0.822)	(0.752)	(0.598)	(0.329)	(0.959)	(0.554)

Std. Error	121.17	32.71	161.55	69.94	46.38	16.54	25.50
t-stat	-0.12	-0.22	0.32	0.53	-0.98	0.05	-0.59
G. Usinas Eólica maior que 50MW							
Efeito	142.35	13.55	77.29	208.82	-0.01***	-17.75***	23.15
P-valor	(0.690)	(0.704)	(0.500)	(0.299)	(0.005)	(0.000)	(0.419)
Std. Error	356.40	35.68	114.54	201.03	50.08	4.28	28.68
t-stat	0.40	0.38	0.67	1.04	-2.82	-4.14	0.81

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela apresenta estimativas do efeito da instalação de energias sustentáveis na renda média salarial dos municípios brasileiros estratificado por potencial de geração. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Os resultados mostram que, para as pequenas centrais hidrelétricas de até 15MW, houve um aumento significativo no salário médio no setor agrícola, com um incremento médio de R\$51.84. Além disso, o setor de construção também experimentou um aumento relevante de R\$123.85, enquanto os demais setores não apresentaram efeitos estatisticamente significativos. Vale ressaltar que a instalação dessas PCHs contribuiu para a redução da desigualdade de renda (coluna 8). No caso das PCHs de até 30MW, observou-se um aumento no salário médio, atingindo R\$133.20, e diversos setores foram impactados positivamente pela implementação dessas usinas. O setor agrícola apresentou um aumento de R\$20.19, e a construção teve um acréscimo de R\$76.65. Adicionalmente, o setor de comércio e outros também foram afetados positivamente, sugerindo que, em comparação com as PCHs de até 15MW, as de 30MW conseguem influenciar mais setores, gerando maior dinâmica econômica, entretanto, os demais setores não registraram impactos significativos. Esses achados corroboram com os resultados apresentados na Tabela 2, reforçando a contribuição positiva das PCHs para setores específicos da economia, especialmente as com capacidades maiores.

Ao analisar usinas de biomassa com capacidades de 50MW, 100MW e superiores a 100MW, todos os cenários revelam impactos positivos e estatisticamente significativos na renda, respaldando os resultados apresentados na Tabela 2. Os setores mais impactados pela instalação dessas usinas englobam a agricultura (coluna 2), a indústria (coluna 3), a construção (coluna 4), o comércio (coluna 6) e outros serviços (coluna 7).

As usinas eólicas com capacidade de até 50MW não demonstram efeitos significativos no salário médio e nos setores econômicos analisados, corroborando com os achados na tabela 2. Por outro lado, usinas eólicas com capacidade superior a 50MW exibem impactos negativos nos setores de serviços e comércio. Entretanto, é crucial considerar a possibilidade de esses resultados estarem associados ao erro tipo 1, representando um falso positivo.

Em síntese, os resultados sugerem que a instalação de usinas de energia renovável tem impactos diferenciados nos salários médios, variando de acordo com o tipo e a capacidade de geração das usinas, bem como há efeitos distintos nos setores econômicos.

4.6.2. Diferença em Diferenças Duplamente Robusto

Callaway et al., 2021 propuseram um estimador robusto de diferenças em diferenças (CSDD) para casos em que os tratamentos ocorrem em momentos diferentes no tempo. A abordagem dos autores para esse problema envolve a desagregação do DD de tratamento escalonado em múltiplos DD canônicos 2x2.

Eles buscam identificar o momento específico do tratamento para determinados indivíduos e dividir a análise em blocos específicos ou "blocos de construção". Sob as suposições de (i) tendências paralelas condicionais, (ii) não antecipação dos efeitos do tratamento, (iii) sobreposição de covariáveis e (iv) o vetor de variáveis de resultado e status de tratamento sendo i.i.d. com distribuição F que satisfaz as tendências paralelas. Esse procedimento de estimação é chamado de duplamente robusto, combinando as abordagens de regressão de resultado (Heckman et al., 1997, 1998) com o escore de propensão (Abadie, 2005) para obter uma configuração de DD com vários períodos.

O efeito médio do tratamento nos tratados (ATT) para o grupo (g) no período (t) é estimado semi-parametricamente pela seguinte equação:

$$ATT(g, t) = E \left[\left(\frac{G_g}{E[G_g]} - \frac{\frac{p_g(X)C}{1-p_g(X)}}{E\left[\frac{p_g(X)}{1-p_g(X)}\right]} \right) (Y_t - Y_{g-1} - \mu_{g,t}(X)) \right] \quad (2)$$

onde $p_g(X)$ (o escore de propensão) o escore de propensão) representa a probabilidade de pertencer ao grupo tratado (g) ou ao grupo de controle (C), e $\mu_{g,t}(X) = E[Y_t - Y_{g-1} | X, C = 1]$. Ao contrário de uma abordagem tradicional de DD, o principal parâmetro de interesse causal aqui é o efeito médio do tratamento no grupo, representado por $ATT(g, t)$, sendo uma função do grupo de tratamento (g) e do período (t).

Tabela 5 – Callaway and Sant’Anna Diferença em Diferenças (CSDD)

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Pequena Central Hidrelétrica							
Efeito	-0.84	16.27**	20.66	-33.36	-19.26	5.72	9.12
P-valor	(0.989)	(0.050)	(0.340)	(0.327)	(0.404)	(0.577)	(0.678)
Std. Error	59.38	8.31	21.66	34.01	23.08	10.26	21.96
z-stat	-0.01	1.96	0.95	-0.98	-0.83	0.56	0.42
B. Usina Térmica de Biomassa							
Efeito	185.17***	37.90***	138.50***	-25.10	-26.92	-8.63	69.42***
P-valor	(0.000)	(0.004)	(0.000)	(0.513)	(0.140)	(0.314)	(0.000)
Std. Error	51.33	13.15	24.18	38.40	18.23	8.57	18.55
z-stat	51.33	2.88	5.73	-0.65	-1.48	-1.01	3.74
C. Usinas Eólica							
Efeito	44.73	4.26	8.57	112.01	-25.79	-37.71*	-16.61
P-valor	(0.779)	(0.889)	(0.929)	(0.124)	(0.577)	(0.052)	(0.461)
Std. Error	159.32	30.59	96.03	72.84	46.27	19.38	22.54
z-stat	0.28	0.14	0.09	1.54	-0.56	-1.95	-0.74

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela relata estimativas do efeito das energias sustentáveis na renda média salarial dos municípios brasileiros com a metodologia proposta por Callaway and Sant’Anna Diferença em Diferenças. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

A Tabela 5 apresenta os efeitos da análise de robustez utilizando a abordagem de Diferença em Diferenças (CSDD) proposta por Callaway et al., 2021. De maneira geral, não se observa efeitos significativos no salário médio (coluna 1) e nos setores analisados para as pequenas centrais hidrelétricas, exceto no setor agrícola, onde há um aumento médio significativo de R\$16.27.

Já para as usinas de biomassa, verifica-se um impacto positivo e significativo na agricultura, indústria e outros setores. Por fim, para as usinas eólicas, não são observados efeitos significativos no salário médio e nos setores analisados, com exceção de uma redução no setor de comércio (-R\$37.71) este último resultado sugere a possibilidade de um erro tipo 1 associado a esse setor.

Tabela 6 – Callaway and Sant’Anna Diferença em Diferenças (CSDD) com Heterogeneidade de Tratamento

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Pequena Central Hidrelétrica até 15MW							
Efeito	-36.63	32.43**	6.31	-13.33	-36.57	-1.54	-23.93
P-valor	(0.720)	(0.033)	(0.782)	(0.822)	(0.168)	(0.917)	(0.515)
Std. Error	102.22	15.20	22.86	59.27	26.53	14.76	36.79
z-stat	-0.36	2.13	0.28	-0.22	-1.38	-0.10	-0.65
B. Pequena Central Hidrelétrica entre 15MW - 30MW							
Efeito	17.86	13.64	40.67	-58.27	-15.90	6.30	-23.93
P-valor	(0.800)	(0.163)	(0.222)	(0.166)	(0.639)	(0.658)	(0.515)
Std. Error	70.58	9.78	33.28	42.05	33.90	14.25	36.79
z-stat	0.25	1.39	1.22	-1.39	-0.47	0.44	-0.65
C. Usina Térmica de Biomassa até 50MW							
Efeito	141.84***	28.40**	138.53***	-28.28	-41.55**	-11.86	70.08***
P-valor	(0.010)	(0.017)	(0.000)	(0.493)	(0.046)	(0.233)	(0.002)
Std. Error	54.73	11.88	24.18	41.24	20.81	9.94	22.29
z-stat	2.59	2.39	5.73	-0.69	-2.00	-1.19	3.14
D. Usina Térmica de Biomassa entre 50MW - 100MW							
Efeito	477.06***	101.38**	178.98***	126.05	35.26	-3.45	38.82
P-valor	(0.003)	(0.031)	(0.000)	(0.183)	(0.424)	(0.866)	(0.109)
Std. Error	163.31	46.97	49.87	94.67	44.14	20.52	24.24
z-stat	2.92	2.16	3.59	1.33	0.80	-0.17	1.60
E. Usina Térmica de Biomassa maior que 100MW							
Efeito	109.80	-21.26	385.77*	-386.48	26.96	-3.90	108.70***
P-valor	(0.673)	(0.880)	(0.072)	(0.196)	(0.552)	(0.830)	(0.000)
Std. Error	260.56	141.30	214.08	299.19	45.36	18.17	25.00
z-stat	0.42	-0.15	1.80	-1.29	0.59	-0.21	4.35
F. Usinas Eólica até 50 MW							
Efeito	-3.77	-44.27	-42.33	123.81*	23.80	-34.74	-30.03
P-valor	(0.984)	(0.189)	(0.778)	(0.092)	(0.366)	(0.247)	(0.376)
Std. Error	185.17	33.72	150.27	73.46	26.30	29.97	33.89
z-stat	-0.02	-1.31	-0.28	1.69	0.90	-1.16	-0.89
G. Usinas Eólica maior que 50MW							
Efeito	254.38	64.86	120.29	242.98	-153.63	-5.32	-14.79
P-valor	(0.629)	(0.371)	(0.481)	(0.259)	(0.200)	(0.684)	(0.640)
Std. Error	526.53	72.54	170.54	215.05	119.75	13.07	31.63
z-stat	0.48	0.89	0.71	1.13	-1.28	-0.41	-0.47

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela apresenta estimativas do efeito da instalação de energias sustentáveis na renda média salarial dos municípios brasileiros com a metodologia proposta por Callaway and Sant’Anna de Diferença em Diferenças (CSDD) com Heterogeneidade de Tratamento. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Os resultados da Tabela 6 reforçam as conclusões obtidas no teste de robustez apresentado nos resultados anteriores. Para as PCH de até 15MW, não são identificados efeitos significativos no salário médio e na maioria dos setores econômicos, com exceção do setor agrícola, onde se observa um aumento médio significativo de R\$32.43. Já para as SHP de 30MW, os resultados indicam

a ausência de efeitos significativos no salário médio e nos diversos setores analisados. No caso das usinas de biomassa de 50MW, 100MW e acima de 150MW, os resultados evidenciam aumentos significativos na renda média, bem como impactos positivos nos setores analisados, corroborando as descobertas anteriores. Em relação às usinas eólicas, aquelas de até 50MW mostram um aumento no setor de construção, sugerindo a possibilidade de um erro tipo 1. Já as usinas eólicas com capacidade superior a 50MW não apresentam efeitos significativos no salário médio e nos setores econômicos analisados, alinhando-se com os resultados anteriores. Essa consistência nos resultados entre os diferentes modelos e abordagens fortalece a confiabilidade das conclusões sobre os efeitos das energias renováveis no cenário socioeconômico brasileiro.

4.6.3. Análise Heterogênea Regional

É crucial levar em conta as diferenças regionais do Brasil ao avaliar os impactos do desenvolvimento decorrentes da instalação de pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassa e usinas eólicas. A diversidade geográfica e as características específicas dos municípios podem desempenhar um papel significativo nos resultados observados. Diversos fatores regionais, como recursos naturais, condições climáticas, infraestrutura existente e características demográficas, podem influenciar a magnitude e a natureza dos impactos. Além disso, a disponibilidade de mão de obra e insumos locais é fundamental para entender a dispersão e os fluxos de fatores de produção, como mão de obra, níveis educacionais e outros determinantes do desenvolvimento. Considerar esses aspectos é essencial para uma análise mais precisa e abrangente dos efeitos socioeconômicos das energias renováveis em diferentes regiões do país.

Quanto a instalação das pequenas centrais hidrelétricas no Brasil. As regiões mais propícias para a instalação dessas usinas estão localizadas nos biomas cerrado, mata atlântica e pampa (regiões centro-oeste, sudeste e sul). Entretanto, para as usinas térmicas de biomassa, algumas regiões do Brasil podem apresentar condições mais favoráveis para produção de energia que outras. Por exemplo, a região Norte do país está associada a atividade de silvicultura, assim há a possibilidade de utilização de resíduos como combustível. Por sua vez, as regiões centro-oeste e sudeste apresentam atividade ligadas ao agronegócio com potencial de desenvolvimento, assim, os resíduos provenientes dessas atividades podem ser utilizados para abastecer as usinas térmicas de biomassa gerando desenvolvimento socioeconômico local e dinâmica econômica nos setores. Já a região nordeste possui um clima semiárido e atividade específicas, com uma dinâmica agroindustrial limitada, além de uma baixa qualidade de infraestrutura de transporte, dificultando o acesso aos insumos para a combustão e geração de energia. Espera-se que nessa região a instalação possua características próprias em um sentido de complementar a produção agroindustrial existente, não provocando externalidade e desenvolvimento econômico regional. Na região Sul do Brasil, há uma infraestrutura de transporte bem desenvolvida, eficiência produtiva agrícola e industrial, a instalação de novas usinas de biomassa é vista como uma oportunidade para impulsionar a indústria local, aumentando a demanda por insumos diretos como caldeiras e componentes metálicos para a instalação da própria usina. Por fim, as usinas eólicas dependem da força dos ventos, e as

regiões mais propícias para a instalação são o Sul e o Nordeste, como anteriormente mencionado, cada uma dessas regiões possui níveis distintos de produtividade da mão de obra, qualidade da infraestrutura e dinâmica econômica. A seleção dessas localidades leva em conta não apenas a topografia favorável para a captação de ventos, mas também a viabilidade técnica e econômica desses empreendimentos nessas áreas geográficas.

A Tabela 7 apresenta a distribuição de usinas por região no Brasil. As cinco macro regiões do Brasil são: Centro-Oeste, Norte, Nordeste, Sul e Sudeste. Observa-se que a região Centro-Oeste, Sul e Sudeste concentram a maior parte das pequenas centrais hidrelétricas e usinas térmicas de biomassas. Por sua vez, a região Nordeste apresenta uma concentração das usinas eólicas. Esses dados evidenciam a distribuição desigual das usinas de energia renovável pelo país, com certas regiões concentrando uma quantidade significativa dessas instalações. A realização de um teste de heterogeneidade visa investigar se há uma relação significativa entre as diferentes regiões na presença de uma dessas usinas.

Tabela 7 – Distribuição das plantas nas regiões do Brasil

Região	PCHs	Biomassas	Eólicas
Centro-oeste ⁴	8	34	0
Norte ⁵	23	14	0
Nordeste ⁶	3	41	12
Sul ⁷	37	54	2
Sudeste ⁸	50	130	1

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela apresenta a distribuição de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), usinas térmicas de biomassas e usinas eólicas nas regiões do Brasil.

A Tabela 8 apresenta os resultados da análise de diferença em diferenças sintéticas para pequenas centrais hidrelétricas em diferentes regiões do Brasil. É possível observar que na região Centro-Oeste, a implementação das PCHs está associada a um aumento significativo na renda média do setor de comércio, com um acréscimo de R\$23.83, demonstrando uma significância estatística de 5%. Na região Norte, a instalação dessas usinas não está associada a um efeito estatisticamente significativo na renda sobre a média dos trabalhadores formais, nem mesmo na renda dos setores, isso se deve as características específicas da região, mencionadas anteriormente. Na região Sul, a implementação de PCHs está associada a um aumento significativo na renda formal dos trabalhadores em R\$254.08, com efeitos positivos nos setores de comércio (R\$33.36) e outros (R\$114.15). Já na região Sudeste, embora a renda média total não seja significativamente afetada, o setor de indústria (coluna 3)

⁴ As unidades da federação que compõem a região Centro-Oeste são: Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS) e o Distrito Federal (DF).

⁵ As unidades da federação que compõem a região Norte são: Amazonas (AM), Pará (PA), Acre (AC), Roraima (RR), Rondônia (RO), Amapá (AP) e Tocantins (TO).

⁶ As unidades da federação que compõem a região Nordeste são: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE).

⁷ As unidades da federação que compõem a região Sul são: Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS).

⁸ As unidades da federação que compõem a região Sudeste são: Espírito Santo (ES), Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP).

apresenta uma redução estatisticamente significativa de R\$48.10, mas um aumento de R\$68.31 no setor de construção.

Tabela 8 – Diferença em Diferenças Sintético para Pequenas Centrais Hidrelétricas nas regiões do Brasil

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Centro-Oeste							
Efeito	78.16	11.77	117.17	19.12	32.31	23.83**	-18.90
P-valor	(0.620)	(0.367)	(0.196)	(0.829)	(0.543)	(0.027)	(0.606)
Std. Error	157.70	13.05	90.56	88.55	53.07	10.74	36.63
t-stat	0.50	0.90	1.29	0.22	0.61	2.22	-0.52
B. Norte							
Efeito	-0.031	13.42	-80.07	59.94	0.0229	19.67	-35.26
P-valor	(0.274)	(0.696)	(0.156)	(0.630)	(0.034)	(0.324)	(0.378)
Std. Error	286.86	34.41	56.45	124.45	107.89	19.95	40.00
t-stat	-1.09	0.39	-1.42	0.48	-2.12	0.99	-0.88
D. Sul							
Efeito	254.08***	-13.51	10.94	70.92	48.77	33.36*	114.15***
P-valor	(0.010)	(0.503)	(0.568)	(0.249)	(0.204)	(0.098)	(0.003)
Std. Error	99.10	20.15	19.19	61.57	38.41	20.18	38.28
t-stat	2.14	-0.67	0.57	1.15	1.27	1.65	2.98
E. Sudeste							
Efeito	-41.79	-10.48	-48.10**	68.31*	21.92	-10.48	-10.37
P-valor	(0.359)	(0.221)	(0.026)	(0.083)	(0.309)	(0.329)	(0.591)
Std. Error	45.54	8.55	21.59	39.36	21.56	10.75	19.29
t-stat	-0.92	-1.23	-2.23	1.74	1.02	-0.98	-0.54

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela relata estimativas do efeito da instalação de pequenas centrais hidrelétricas sobre o salário médio para regiões do Brasil. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de diferença em diferenças sintéticas para usinas de biomassa nas regiões do Brasil. Os resultados na região Centro-Oeste, mostram que a instalação de usinas de biomassa está associada a um aumento significativo na renda média de 490.54, impactando positivamente setores como agricultura (R\$36.05) indústria (R\$129.91), construção (R\$ 230.35) além de outros setores (R\$146.25). No Norte, observa-se um aumento expressivo na renda média (R\$353.62), sendo as indústrias (R\$127.80) e outros setores (R\$241.77) os mais beneficiados por essas instalações. No Nordeste, as usinas de biomassa não apresentam um impacto significativo na renda formal média dos trabalhadores, embora o setor de serviços foi impactado negativamente (-R\$49.98) pela implementação dessas usinas, podendo ser um erro tipo 1. Na região Sul, há um aumento na renda média do setor da indústria (R\$42.11) estatisticamente significativo a 5% de confiança. Já no Sudeste, a instalação de usinas de biomassa está relacionada a um aumento significativo na renda média (R\$307.56), com destaque para os setores de agricultura (R\$89.95), indústria (R\$188.29), negócios (R\$17.85) e o setor outros (R\$80.91). Esses resultados ressaltam a heterogeneidade dos efeitos das usinas de biomassa nas diversas regiões do Brasil, destacando a importância de considerar as características específicas de cada localidade ao analisar o impacto dessas fontes de energia renovável sobre a economia e a renda média dos trabalhadores.

Tabela 9 – Diferença em Diferenças Sintético para usinas de Biomassas nas regiões do Brasil

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Centro-Oeste							
Efeito	490.54***	36.05*	129.91***	230.35***	23.47	11.71	146.25***
P-valor	(0.000)	(0.065)	(0.001)	(0.002)	(0.525)	(0.288)	(0.005)
Std. Error	109.31	19.51	40.72	73.25	36.94	11.02	51.63
t-stat	4.49	1.85	3.19	3.14	0.64	1.06	2.83
B. Norte							
Efeito	353.62***	50.50	127.80***	-36.57	32.09	-2.07	241.77***
P-valor	(0.000)	(0.314)	(0.001)	(0.698)	(0.628)	(0.894)	(0.000)
Std. Error	73.55	50.19	40.07	94.26	66.28	15.61	51.59
t-stat	4.81	1.01	3.19	-0.39	0.48	-0.13	4.69
C. Nordeste							
Efeito	135.40	24.33	169.13	22.47	-49.98*	-20.54	12.35
P-valor	(0.430)	(0.454)	(0.231)	(0.735)	(0.073)	(0.352)	(0.694)
Std. Error	171.43	32.52	141.15	66.32	27.88	22.08	31.37
t-stat	0.79	0.75	1.20	0.34	-1.79	-0.93	0.39
D. Sul							
Efeito	76.84	-16.38	42.11**	-25.99	-5.21	-22.28	34.45
P-valor	(0.343)	(0.412)	(0.036)	(0.786)	(0.831)	(0.186)	(0.186)
Std. Error	81.09	19.95	20.08	95.57	24.37	16.86	26.02
t-stat	0.95	-0.82	2.10	-0.27	-0.21	-1.32	1.32
E. Sudeste							
Efeito	307.56***	89.95***	188.29***	-12.26	-10.20	17.85*	80.91***
P-valor	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.718)	(0.728)	(0.066)	(0.001)
Std. Error	70.94	17.99	40.42	33.99	29.29	9.70	23.48
t-stat	4.34	5.00	4.66	-0.36	-0.35	1.84	3.45

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela relata estimativas do efeito da instalação de Biomassas sobre o salário médio para regiões do Brasil. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

A Tabela 10 apresenta os resultados da análise de diferença em diferenças sintéticas para usinas de energia eólica na região Nordeste do Brasil. Os efeitos estimados indicam que a instalação dessas usinas não tem um impacto estatisticamente significativo na renda média dos trabalhadores na região. Os municípios que compõem essa amostra são: Cururupu (31.558 pessoas), Parnaíba (162.159 pessoas), Amontada (42.156 pessoas), Camocim (62.326 pessoas), Fortaleza (2.428.708 pessoas), Paracuru (38.980 pessoas), Pindoretama (23.391 pessoas), Brejinho (12.202 pessoas), Macau (27.369 pessoas), Rio do Fogo (27.369 pessoas), Macau (10.351 pessoas), Macaparana (23.879 pessoas), Pombos (27.552 pessoas), São Francisco de Itabapoana (45.059 pessoas) e Tramandaí (54.387 pessoas). Nota-se que a grande maioria dos municípios possui população próxima a 30 mil habitantes, situadas na região nordeste, com uma das características principais o baixo IDH, pouca dinâmica econômica e atividades ligadas a agroindústria.

Tabela 10 – Diferença em Diferenças Sintético para usinas eólicas nas regiões do Brasil

	(1) Renda	(2) Agricultura	(3) Industria	(4) Construção	(5) Serviços	(6) Comércio	(7) Outros
A. Nordeste							
Efeito	79.12	43.70	46.47	72.47	-63.82	-11.90	-2.42
P-valor	(0.543)	(0.226)	(0.747)	(0.411)	(0.200)	(0.439)	(0.918)
Std. Error	130.03	36.08	144.34	88.09	49.75	15.39	23.42
t-stat	0.61	1.21	0.32	0.82	-1.28	-0.77	-0.10

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela relata estimativas do efeito da instalação de usinas eólicas sobre o salário médio para regiões do Brasil. As estimativas consideram erros padrão de bootstrap. Os símbolos *, ** e *** representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Os nossos resultados encontrados nesse estudo não corroboram com os achados de outros autores, como por exemplo GONÇALVES, RODRIGUES e CHAGAS, 2020. É importante ressaltar que: (i) o período utilizado pelos autores (2004 a 2016) não houve uma política continua de financiamento e incentivos do governo federal para a instalação de das usinas eólicas, o que pode ter impactado significativamente os resultados. (ii) As diferenças metodológicas entre os estudos também podem contribuir para as disparidades nos resultados. (iii) a diferença temporal dos dados entre os dois estudos, (iv). Investimentos em energia eólica geralmente têm um período de maturação, durante o qual os benefícios econômicos podem não ser imediatamente percebidos.

4.7. Análise de Custo e Benefício

Esta seção apresenta uma simulação dos custos de instalação para as pequenas centrais hidrelétricas, as usinas térmicas de biomassas e as usinas eólicas de acordo com o seu potencial de geração. Estamos considerando valores constantes a partir de 2022, de acordo com o relatório de custos de geração de energia renovável produzido pela Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA, 2022a). A análise financeira fornecida aqui é apenas para fins ilustrativos e representa de forma direta os custos de estabelecer essas usinas de energia a. A primeira coluna da Tabela 9 exibe os custos estimados de instalação para cada capacidade de planta. É relevante observar que esses custos representam apenas uma parcela do investimento total em uma usina de energia. Outras despesas significativas incluem custos contínuos de operação e manutenção, englobando aquisição de insumos, equipamentos operacionais, dispositivos específicos conforme as características e técnicas-chave que determinam o tipo e o tamanho da usina, além de despesas com mão de obra, entre outros fatores.

Segundo o relatório da Agência Internacional para as Energias Renováveis, os custos totais de instalação de pequenas hidrelétricas no Brasil tiveram uma média de USD 2.368/kW no período de 2016 a 2022. Os custos predominantes estão associados às obras de construção da usina, sendo variáveis conforme o tamanho e escopo do projeto, assim como outras propriedades influenciadas pela localização específica. Geralmente, os custos totais de projetos de energia hidrelétrica compreendem dois componentes principais: as obras civis destinadas à construção da usina, abrangendo o

desenvolvimento de infraestrutura necessário para acesso ao local, conexão à rede, ações vinculadas à mitigação de questões ambientais identificadas e custos de desenvolvimento do projeto; e os custos de aquisição relacionados ao equipamento eletromecânico. A construção civil, que engloba elementos como barragem, túneis, canal e construção da central elétrica, geralmente representa a maior proporção dos custos totais de instalação para grandes hidrelétricas. Em seguida, os custos para equipar a central elétrica, incluindo eixos e equipamentos eletromecânicos, em casos específicos, constituem o segundo maior componente de despesas de capital.

Na análise das usinas térmicas de biomassas para projetos de bioenergia recém-comissionados em 2022, o custo total médio ponderado global instalado foi de USD 2.162/kW. Importante destacar que há variações nos custos de geração de energia entre diferentes regiões, sendo influenciados por componentes tecnológicos e locais. De maneira geral, projetos em economias emergentes tendem a apresentar custos de investimento mais baixos em comparação com projetos em países da OCDE. As principais categorias nos custos totais de investimento de uma usina de energia de biomassa abrangem planejamento, custos de engenharia e construção, máquinas de manuseio e preparação de combustível, além de outros equipamentos como o motor principal e o sistema de conversão de combustível. Custos adicionais derivam da conexão à rede e infraestrutura, incluindo obras civis e estradas. Embora os custos de equipamento geralmente sejam predominantes, projetos específicos podem incorrer em despesas substanciais relacionadas à infraestrutura, logística ou conexão à rede, especialmente quando localizados em áreas remotas.

Na avaliação das usinas eólicas, o custo médio ponderado de instalação total de energia é de USD 1.052/kW. O Brasil apresenta custos instalados abaixo da média global, beneficiando-se de um mercado mais maduro e, geralmente, estruturas de custos mais eficientes do que seus vizinhos. Os custos associados à instalação de uma usina eólica englobam a aquisição das turbinas eólicas, despesas com infraestrutura civil e fundações para garantir a estabilidade das estruturas, custos relacionados à engenharia e ao projeto, despesas de conexão à rede elétrica, além da possível aquisição ou arrendamento de terras. O design da usina é adaptado para atender às características específicas do local, considerando acessibilidade à rede. Tais variações podem incluir diferentes requisitos de uso da terra e transporte, bem como os requisitos técnicos e comerciais específicos do desenvolvedor.

Considerando o custo médio das instalações de usinas e adaptando-as conforme o potencial de geração de energia, obtemos o custo de instalação, como mostrado na coluna 1. Além disso, o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que financia os programas do PROINFA, possui uma participação máxima de até 80% nos itens financiáveis, exigindo que o investidor aporte apenas 20% do projeto inicialmente, conforme evidenciado na coluna 3. Consideremos uma receita anual de 15% do custo de instalação (coluna 6). Adicionalmente, a tabela mostra o resultado de um fluxo de caixa de vinte anos para cada uma das usinas de energia, assumindo uma taxa de desconto anual de 9,5%. Assim, os investimentos financeiros realizados para a instalação das usinas são amortizados ao longo de 20 anos. É essencial enfatizar que esta simulação financeira é apenas para fins ilustrativos e pode não representar completamente os custos e receitas reais de projetos específicos de usinas de energia. Retornos de investimento reais e períodos de

amortização podem variar dependendo de fatores do mundo real, condições de mercado e eficiências operacionais.

Tabela 11 – Análise de Custos e Benefícios

	(1) Custos de Instalação	(2) Juros	(3) Investimento inicial	(4) produção energética	(5) custos anuais	(6) Receita Anual	(7) Fluxo de caixa de 20 anos
Painel A – Pequenas Centrais Hidrelétricas							
Planta A	150 Mi	15 Mi	30 Mi	15MW	3 Mi	22.5 Mi	171.841.451,28
Planta B	170 Mi	17 Mi	34 Mi	15-30MW	3.4 Mi	25.5 Mi	194.753.644,78
Painel B – Usinas Térmicas de Biomassas							
Planta A	160 Mi	15 Mi	30 Mi	50MW	3.2 Mi	24 Mi	183.297.548,03
Planta B	180 Mi	18 Mi	36 Mi	50-100MW	3.6 Mi	27 Mi	206.209.741,53
Planta C	210 Mi	21 Mi	42 Mi	>100MW	4.2 Mi	31.5 Mi	240.578.031,79
Painel C – Usinas Eólicas							
Planta A	70 Mi	7 Mi	14 Mi	50MW	1.4 Mi	10.5 Mi	80.192.677,26
Planta B	100 Mi	10 Mi	20 Mi	>50MW	2 Mi	15 Mi	114.560.967,52

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. **Notas:** Esta tabela apresenta projeções de custos e receitas para instalação de energia renovável. A taxa de juros é correspondente a 10%, o investimento inicial é correspondente a 20%, os custos anuais são correspondentes a 2% e a receita anual corresponde a 15%. Os valores estão cotados em reais brasileiro. Mi corresponde a milhões de reais

Agora vamos realizar uma análise incorporando os ganhos socioeconômicos encontrados na seção de resultados (tabela 2). Considerando uma cidade com aproximadamente 50.000 habitantes, o aumento médio estimado na renda formal é de R\$5.871.000 por ano, para pequenas centrais hidrelétricas. E aumento médio estimado na renda formal é de R\$15.062.500 por ano para usinas térmicas de Biomassas, e como não temos efeitos significativos para as usinas eólicas, assumimos que não há ganho econômico direto para os trabalhadores das regiões instaladas.

Incorporando os ganhos econômicos (R\$5.871.000) no fluxo de caixa da planta A para PCHs (até 15 MW), em cerca de 11 anos o investimento estaria pago em termos sociais (R\$168.648.753,36). Para a planta B (entre 15 a 30MW), em 12 anos o investimento estaria pago (R\$195.344.941,80). Para as usinas térmicas de biomassas para planta A (até 50 MW) o investimento estaria pago em 7 anos (R\$177.505.468,07), para a planta B (entre 50 a 100 MW) o investimento estaria pago em 8 anos (R\$208.983.524,96), por fim as plantas C o investimento em termos sociais estaria pago em 9 anos (R\$248.891.711,99).

Para a simulação proposta de uma cidade de 50.000 habitantes, os resultados mostram que as políticas públicas de energética que buscam financiar fontes renováveis como pequenas centrais hidrelétricas e usinas térmicas de biomassas obtém melhores retornos socioeconômicos. Destaca-se a instalação de biomassas principalmente as de menor escala, posteriormente temos as PCHs. Como sugestão de políticas públicas o governo pode priorizar os recursos para investimento nessas usinas de energia, na seguinte ordem, usinas térmicas de biomassa (das de menor escala para as de maior escala), as pequenas centrais hidrelétricas (independentemente do tamanho da escala), e por fim as usinas eólicas.

4.8. Considerações Finais

Este artigo inova na literatura porque testa o impacto da instalação de usinas de fontes renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas e usinas eólicas) sobre a renda formal dos trabalhadores no Brasil. Ou seja, levantamos seguintes hipóteses: (i) a instalação de usinas de energias sustentáveis aumentou os salários médio dos trabalhadores formais no município receptor, e (ii) a instalação de usinas de energias sustentáveis afetou os salários médios dos trabalhadores formais em diferentes setores (agricultura, indústria, construção, serviços, negócios e outros) no município receptor. O estudo é pioneiro na avaliação da implementação das PCHs sobre a renda local. E traz novas evidências para a instalação de usinas de biomassas e usinas eólicas. Entendemos que os resultados encontrados se sobrepõem aos escassos trabalhos da literatura devido ao período considerado, dados e técnicas metodológicas utilizadas. Consideramos um período histórico específico onde houve uma política contínua de financiamento e incentivos do governo federal para a instalação dessas usinas, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), iniciando em 2002 e finalizando em 2011. O programa destacou-se, nacionalmente e internacionalmente por ser o maior programa de incentivo e promoção às fontes alternativas de energia elétrica do mundo. A utilização desse período justifica-se pela homogeneidade de incentivos em todo território brasileiro. Quanto as técnicas econométricas utilizamos o Diferença em Diferenças sintético com e sem covariáveis a fim de identificar o efeito causal da instalação das usinas, comparando os municípios tratados com seus respectivos contrafactuais. Aprofundamos a análise ao considerar possíveis efeitos heterogêneos do potencial de geração de energia. Como estratégia de robustez, propusemos o método de Diferença em Diferenças duplamente robusto e análise heterogêneas regionais.

Os resultados para a instalação de pequenas centrais hidrelétrica indicam um aumento significativo na média salarial de aproximadamente R\$117,42. Os principais setores afetados na implementação dessa usina são o setor agrícola com um aumento de R\$30,80, o setor de construção com aumento de R\$80,37, comércio com aumento de R\$16,69 e outros setores com aumento de R\$29,13. Além disso, os efeitos exibem heterogeneidade de acordo com a região em que foi instalada.

Por sua vez a instalação das usinas térmicas de biomassa geram um aumento significativo na média salarial de aproximadamente R\$301,37. Onde os principais setores afetados são a agricultura com aumento de R\$63,79, indústria R\$160,10, construção R\$48,70 e outros setores R\$79,12. Ademais, os efeitos exibem heterogeneidade com as regiões mais afetadas pela instalação sendo a região central-oeste no setor de agricultura, indústria, construção e outros, a região norte no setor de indústria e outros e por fim a região sudeste com os principais setores afetados sendo a agricultura, indústria, comércio e outros.

Já a instalação de usinas eólicas não teve efeitos estatisticamente significativos registrados, ou seja, a instalação dessas usinas no período analisado não gerou aumento médio da renda para os trabalhadores desses municípios.

A análise custo-benefício indica que o investimento em pequenas centrais hidrelétricas, usinas biomassas se tornará lucrativo em aproximadamente 20 anos. Entretanto, do ponto de vista econômico sociais, esse investimento estaria pago antes. As PCHs têm seu retorno em 11 anos para as usinas de até 15MW e 12 anos para usinas entre 15 a 30MW. Para as usinas térmicas de biomassas

esses retornos são ainda mais cedo, para as usinas de até 50 MW o investimento estaria pago em 7 anos, para as plantas entre 50 a 100 MW o investimento estaria pago em 8 anos e as plantas superiores a 100MW o investimento em termos sociais estaria pago em 9 anos. Portanto, dado que os recursos do governo federal para as políticas públicas de incentivo a energia renováveis são escassos, pode-se priorizar inicialmente as usinas térmicas de biomassa, em seguida as pequenas centrais hidrelétricas, e por fim as usinas eólicas.

Os resultados desse estudo têm implicações significativas para a economia brasileira e pode servir de inspiração para outros países em desenvolvimento. Dado que os recursos são escassos os investimentos governamentais podem ser feitos incentivando principalmente e inicialmente as usinas biomassas, as pequenas centrais hidrelétricas e por fim as usinas eólicas pois indica que no nível local, a implementação dessas usinas provoca um aumento da renda formal, fortalecendo a economia local e aumentando a dinâmica econômica. Esta pesquisa apresenta uma importante contribuição para o Brasil e o cenário internacional, buscando preencher uma lacuna não explorada por estudos anteriores nas discussões sobre as pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas e usinas eólicas no desenvolvimento econômico. Ao destacar os benefícios socioeconômicos das instalações de usinas de energia.

Referências

- AGUGLIARO, F. Manzano *et al.* Scientific production of renewable energies worldwide: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 18, p. 134–143, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez66.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S136403211200562X>. Acesso em: 4 jul. 2023.
- ALAM, Zafar *et al.* Community-Based Business on Small Hydropower (SHP) in Rural Japan: A Case Study on a Community Owned SHP Model of Ohito Agricultural Cooperative. *Energies*, [s. l.], v. 14, n. 11, p. 3349, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/11/3349>. Acesso em: 5 fev. 2024.
- ALOLA, Andrew Adewale; ADEBAYO, Tomiwa Sunday. Analysing the waste management, industrial and agriculture greenhouse gas emissions of biomass, fossil fuel, and metallic ores utilization in Iceland. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 887, p. 164115, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723027365>. Acesso em: 6 fev. 2024.
- ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 875, DE 10 DE MARÇO DE 2020. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020875.html>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- ANTAR, Mohammed *et al.* Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 139, p. 110691, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120309758>. Acesso em: 6 fev. 2024.
- ARKHANGELSKY, Dmitry *et al.* Synthetic Difference-in-Differences. *American Economic Review*, [s. l.], v. 111, n. 12, p. 4088–4118, 2021. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20190159>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- AWOSUSI, Abraham Ayobamiji *et al.* The dynamic impact of biomass and natural resources on ecological footprint in BRICS economies: A quantile regression evidence. *Energy Reports*, [s. l.], v. 8, p. 1979–1994, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722000221>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Small hydropower and carbon credits revenue for an SHP project in national isolated and interconnected systems in Brazil. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 48, p. 27–34, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112003072>. Acesso em: 14 set. 2023.
- BILGILI, Faik; OZTURK, Ilhan. Biomass energy and economic growth nexus in G7 countries: Evidence from dynamic panel data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 49, p. 132–138, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115003688>. Acesso em: 6 fev. 2024.
- BLANCO, María Isabel. The economics of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 1372–1382, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108001299>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Painel NDC - nossa contribuição para as metas de redução de emissões do Brasil. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/desenvolvimento-sustentavel/resultados/emissoes-evitadas>. Acesso em: 5 jan. 2024.

BRASIL. DECRETO Nº 2.335, DE 6 DE OUTUBRO DE 1997. [S. l.], 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.HTM. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. DECRETO Nº 5.081, DE 14 DE MAIO DE 2004. [S. l.], 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5081.htm. Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL. LEI Nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996. [S. l.], 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm. Acesso em: 15 set. 2023.

BRASIL. LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002. [S. l.], 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm. Acesso em: 4 nov. 2023.

BRASIL. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 3 nov. 2023.

BRUNNER, Eric J.; SCHWEGMAN, David J. Commercial wind energy installations and local economic development: Evidence from U.S. counties. *Energy Policy*, [s. l.], v. 165, p. 112993, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152200218X>. Acesso em: 3 fev. 2024.

CALLAWAY, Brantly; GOODMAN-BACON, Andrew; SANT'ANNA, Pedro H. C. Difference-in-Differences with a Continuous Treatment. [S. l.]: arXiv, 2021. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2107.02637>. Acesso em: 2 fev. 2023.

CHEN, Chunxiang *et al.* Review on slagging evaluation methods of biomass fuel combustion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, [s. l.], v. 155, p. 105082, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237021000681>. Acesso em: 6 fev. 2024.

COUTO, Thiago BA; OLDEN, Julian D. Global proliferation of small hydropower plants – science and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 91–100, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fee.1746>. Acesso em: 16 out. 2022.

DE BONA, Jéssica Ceolin; FERREIRA, Joao Carlos Espindola; ORDOÑEZ DURAN, Julian Fernando. Analysis of scenarios for repowering wind farms in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 135, p. 110197, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120304871>. Acesso em: 24 jan. 2024.

DOMAC, J.; RICHARDS, K.; RISOVIC, S. Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass and Bioenergy*, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 97–106, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953404001485>. Acesso em: 6 fev. 2024.

DUQUE-ACEVEDO, Mónica *et al.* Management of agricultural waste biomass as raw material for the construction sector: an analysis of sustainable and circular alternatives. *Environmental Sciences Europe*, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 70, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00655-7>. Acesso em: 6 fev. 2024.

DURSUN, Bahtiyar; GOKCOL, Cihan. The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 1227–1235, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110004532>. Acesso em: 18 out. 2022.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 65–76, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107000286>. Acesso em: 5 jan. 2024.

ELETROBRAS. Proinfa. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://eletrobras.com/en/Paginas/Proinfa.aspx>. Acesso em: 8 out. 2023.

ESMAEILI, Parisa; RAFEI, Meysam. Dynamics analysis of factors affecting electricity consumption fluctuations based on economic conditions: Application of SVAR and TVP-VAR models. *Energy*, [s. l.], v. 226, n. C, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v226y2021ics0360544221005892.html>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FERREIRA, Jacson Hudson Inácio *et al.* Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 56, p. 380–387, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115013003>. Acesso em: 18 out. 2022.

GIRARD, Gaëtan. Does circular bioeconomy contain singular social science research questions, especially regarding agriculture – industry nexus?. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, [s. l.], v. 3, p. 100030, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772801322000264>. Acesso em: 17 nov. 2023.

GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. The impact of wind power on the Brazilian labor market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 128, p. 109887, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120301805>. Acesso em: 6 fev. 2024.

GREGG, Jay Sterling *et al.* Valorization of bio-residuals in the food and forestry sectors in support of a circular bioeconomy: A review. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 267, p. 122093, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620321405>. Acesso em: 30 jan. 2024.

GUSTAVSSON, Leif *et al.* Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels. *Energy*, [s. l.], v. 20, n. 11, p. 1097–1113, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360544295000650>. Acesso em: 6 fev. 2024.

GWEC, GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. GWEC | GLOBAL WIND REPORT 2018. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.abeeolica.org.br/wp->

content/uploads/2019/07/GWEC2018-compactado.pdf. Acesso em: 30 jan. 2024.

HENNIG, Thomas *et al.* Review of Yunnan's hydropower development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and socio-economic consequences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 27, p. 585–595, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004681>. Acesso em: 6 mar. 2023.

HOEN, Ben *et al.* Spatial Hedonic Analysis of the Effects of US Wind Energy Facilities on Surrounding Property Values. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 22–51, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11146-014-9477-9>. Acesso em: 3 fev. 2024.

IRENA, International Renewable Energy Agency. GLOBAL RENEWABLES OUTLOOK - ENERGY TRANSFORMATION 2050. [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_GRO_Summary_2020.pdf?la=en&hash=1F18E445B56228AF8C4893CAEF147ED0163A0E47.

Acesso em: 24 jan. 2024.

IRENA, International Renewable Energy Agency. RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2022. [S. l.], 2022a. Disponível em: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf?rev=cccb713bf8294cc5bec3f870e1fa15c2.

IRENA, International Renewable Energy Agency. Statistics Time Series. [S. l.], 2022b. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>. Acesso em: 30 jan. 2024.

JAHANGIRI, Mehdi *et al.* Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 66, p. 38–52, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116304105>. Acesso em: 3 fev. 2024.

JENSEN, Cathrine Ulla *et al.* The impact of on-shore and off-shore wind turbine farms on property prices. *Energy Policy*, [s. l.], v. 116, p. 50–59, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518300557>. Acesso em: 3 fev. 2024.

JYOTHSNA, G.; BAHURUDEEN, A.; K SAHU, Prasanta. Sustainable utilisation of rice husk for cleaner energy: A circular economy between agricultural, energy and construction sectors. *Materials Today Sustainability*, [s. l.], v. 25, p. 100667, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589234724000034>. Acesso em: 6 fev. 2024.

KALDELLIS, J. K. The contribution of small hydro power stations to the electricity generation in Greece: Technical and economic considerations. *Energy Policy*, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 2187–2196, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506002771>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KISHORE, Teegala Srinivasa *et al.* A Comprehensive Study on the Recent Progress and Trends in Development of Small Hydropower Projects. *Energies*, [s. l.], v. 14, n. 10, p. 2882, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/10/2882>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KONG, Yigang *et al.* Small hydropower in China: The survey and sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 48, p. 425–433, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115003068>. Acesso em: 5 fev. 2024.

KUMAR, Anuj *et al.* Forest Biomass Availability and Utilization Potential in Sweden: A Review. *Waste and Biomass Valorization*, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 65–80, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00947-0>. Acesso em: 30 jan. 2024.

LACHMAN, Jakub *et al.* An overview of slagging and fouling indicators and their applicability to biomass fuels. *Fuel Processing Technology*, [s. l.], v. 217, p. 106804, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382021000837>. Acesso em: 6 fev. 2024.

LANG, Corey; OPALUCH, James J.; SFINAROLAKIS, George. The windy city: Property value impacts of wind turbines in an urban setting. *Energy Economics*, [s. l.], v. 44, p. 413–421, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988314001182>. Acesso em: 3 fev. 2024.

LAZARO, L. L. B. *et al.* Energy transition in Brazil: Is there a role for multilevel governance in a centralized energy regime?. *Energy Research & Social Science*, [s. l.], v. 85, p. 102404, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621004916>. Acesso em: 5 jan. 2024.

LUND, Henrik *et al.* The role of sustainable bioenergy in a fully decarbonised society. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 196, p. 195–203, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014812200859X>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MASNADI, Mohammad S. *et al.* From fossil fuels towards renewables: Inhibitory and catalytic Effects on carbon thermochemical conversion during co-gasification of biomass with fossil fuels. *Applied Energy*, [s. l.], v. 140, p. 196–209, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914012550>. Acesso em: 6 fev. 2024.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. [s. l.], 2020.

NATHANIEL, Solomon Prince *et al.* The roles of nuclear energy, renewable energy, and economic growth in the abatement of carbon dioxide emissions in the G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 28, n. 35, p. 47957–47972, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-021-13728-6>. Acesso em: 9 nov. 2021.

NAUTIYAL, Himanshu *et al.* Small hydropower for sustainable energy development in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 2021–2027, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000219>. Acesso em: 14 set. 2023.

NOSHEEN, Misbah; KHAN, Zia Ullah. Nexus between biomass energy and economic growth: evidence from the next eleven countries. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 29, n. 40, p. 60823–60831, 2022.

Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19489-0>. Acesso em: 6 fev. 2024.

NUNES, Leonel *et al.* Agroforest woody residual biomass-to-energy supply chain analysis: Feasible and sustainable renewable resource exploitation for an alternative to fossil fuels. *Results in Engineering*, [s. l.], v. 17, p. 101010, 2023.

OKOT, David Kilama. Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 26, p. 515–520, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113003092>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PAISH, Oliver. Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 6, n. 6, p. 537–556, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032102000060>. Acesso em: 24 nov. 2022.

PANIĆ, Milena *et al.* Small hydropower plants in Serbia: Hydropower potential, current state and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 23, p. 341–349, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113001755>. Acesso em: 14 set. 2023.

PARIKKA, Matti. Global biomass fuel resources. *Biomass and Bioenergy*, [s. l.], v. 27, n. 6, Pellets 2002. The first world conference on pellets, p. 613–620, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953404001035>. Acesso em: 6 fev. 2024.

PATA, Ugur Korkut. Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: Testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 187, p. 770–779, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez66.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618309132>. Acesso em: 4 jul. 2023.

RIBEIRO, Alan Emanuel Duailibe; AROUCA, Maurício Cardoso; COELHO, Daniel Moreira. Electric energy generation from small-scale solar and wind power in Brazil: The influence of location, area and shape. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 85, p. 554–563, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115300938>. Acesso em: 3 fev. 2024.

SAWANT, Manisha *et al.* A Review on State-of-the-Art Reviews in Wind-Turbine-and Wind-Farm-Related Topics. *Energies*, [s. l.], v. 14, n. 8, p. 2041, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/8/2041>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SGROI, Filippo; DONIA, Enrica; ALESI, Domenico Russo. Renewable energies, business models and local growth. *Land Use Policy*, [s. l.], v. 72, p. 110–115, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837717312607>. Acesso em: 6 fev. 2024.

SHAHBAZ, Muhammad *et al.* Considering the Efeito of biomass energy consumption on economic growth: Fresh evidence from BRICS region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 60, p. 1442–1450, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002720>. Acesso em: 6 fev. 2024.

SHERWOOD, James. The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology*, [s. l.], v. 300, p. 122755, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420300249>. Acesso em: 6 fev. 2024.

SUN, Pei-Ti; PENG, Huadong. Valorisation of Biomass Waste for Sustainable Bioenergy and Biofuel Production. *Bioengineering*, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 619, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5354/10/5/619>. Acesso em: 16 nov. 2023.

UGWU, Collins O.; OZOR, Paul A.; MBOHWA, C. Small hydropower as a source of clean and local energy in Nigeria: Prospects and challenges. *Fuel Communications*, [s. l.], v. 10, p. 100046, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266605202100039X>. Acesso em: 5 fev. 2024.

UHR, Daniel de Abreu Pereira; CORDEIRO, Mikael Jhordan Lacerda; UHR, Júlia Gallego Ziero. The impact of biomass power plants on Brazilian workers' income: a synthetic difference in differences approach. *AREA ANPEC: 11 – Economia Agrícola e do Meio Ambiente*, [s. l.], 2023. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2023/submissao/files_l/i11-3ae42aefdedfded431f610687e22f5ca.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

WANG, Qiang; WANG, Lili; LI, Rongrong. Renewable energy and economic growth revisited: The dual roles of resource dependence and anticorruption regulation. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 337, p. 130514, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622001561>. Acesso em: 16 dez. 2022.

WORLD ENERGY COUNCIL. HUMANISING ENERGY - Annual Report and Accounts for the Year Ended 31 December 2021. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Annual_Report_and_Accounts_2021_World_Energy_Council.pdf. .

YANG, Ju-Ying; DODGE, Jennifer. Local energy transitions as process: How contract management problems stymie a city's sustainable transition to renewable energy. *Energy Policy*, [s. l.], v. 184, p. 113893, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421523004780>. Acesso em: 29 jan. 2024.

ZHANG, Jing *et al.* Carbon dioxide emission accounting for small hydropower plants—A case study in southwest China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 47, p. 755–761, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211500180X>. Acesso em: 14 set. 2023.

ZHANG, Lixiao *et al.* Small hydropower development in China: Growing challenges and transition strategy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 137, p. 110653, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120309370>. Acesso em: 5 fev. 2024.

5. Conclusão geral

Essa dissertação buscou analisar o contexto histórico da matriz energética brasileira, o estado do desenvolvimento da literatura das pequenas centrais hidrelétricas e o efeito da instalação de usinas térmicas de biomassas, usinas eólicas e pequenas centrais hidrelétricas na renda média e na renda setorial brasileira, dividindo-se em três ensaios distintos. O primeiro ensaio apresentou o histórico e a evolução das leis e atos normativos do Brasil no setor de energia, contextualizando as políticas públicas adotadas para expandir as energias renováveis e discutindo as perspectivas futuras para o ano de 2050. O segundo ensaio, buscou preencher uma lacuna na literatura com uma análise bibliométrica das pequenas centrais hidrelétricas, identificando *hotspots*, além de apresentar as fronteiras de pesquisa e tendências emergentes sobre o tema. Por fim, o terceiro ensaio buscou investigar empiricamente o impacto das pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas de biomassas e usinas eólicas em na renda média e renda setorial nos municípios brasileiros preenchendo as lacunas na literatura identificada no segundo ensaio.

Para o primeiro ensaio, foi empregada a metodologia de revisão documental e histórica do setor elétrico brasileiro, baseado em documentos oficiais, relatórios entre outras fontes oficiais relacionadas ao setor energético brasileiro. Isso permitiu evidenciar o histórico das políticas energéticas no Brasil, com os principais marcos e fatores que influenciaram o desenvolvimento do setor, desde suas origens até os dias atuais. O segundo artigo, concentrou nas pequenas centrais hidrelétricas, onde foi realizado uma análise bibliométrica da produção literária dessa fonte renovável. Para isso, utilizou-se a base de dados *Web of Science* e os softwares *VOSViewer* e o *Sci²*. No terceiro ensaio, utilizou-se a metodologia Diferença em Diferenças Sintético com e sem covariáveis, a fim de identificar o efeito causal da instalação das usinas. Além disso, foram considerados possíveis efeitos heterogêneos do potencial de geração de energia, utilizando-se o método de Diferença em Diferenças duplamente robusto e análises heterogêneas regionais.

O primeiro artigo, ofereceu uma análise abrangente e detalhada da evolução das políticas adotadas pelo Brasil no setor energético. Além disso, apresentou as perspectivas futuras para as fontes renováveis para o ano de

2050, priorizando o investimento na geração hidrelétrica, para o aproveitamento do potencial hídrico, principalmente com as pequenas centrais hidrelétricas. O terceiro ensaio contribuiu em ser o pioneiro na identificação dos impactos da instalação das pequenas centrais hidrelétricas na renda dos trabalhadores formais brasileiros, conforme as lacunas de pesquisas identificadas no segundo ensaio. Além de apresentar novas evidências para as usinas biomassas e usinas eólicas. Os resultados do artigo indicaram que a instalação de pequenas centrais hidrelétricas e usinas biomassas aumenta a renda média e a renda média setorial, ademais, houve efeitos heterogêneos de acordo com a capacidade de produção da usina e a região onde foi instalada. No entanto, as usinas eólicas não demonstraram efeitos estatisticamente significativos sobre a renda média e a renda média setorial.

As descobertas apresentadas, com esses três ensaios, ofereceram um contexto histórico para a matriz energética brasileira, evidenciando as bases da evolução do setor e as perspectivas por trás das políticas futuras. Paralelamente a isso, apresenta-se o estado de pesquisas sobre as pequenas centrais hidrelétricas, fonte energética que o Brasil deseja ampliar para o ano de 2050. E por fim, avaliou-se empiricamente o impacto da instalação dessas usinas, além das usinas térmicas de biomassa e usinas eólicas, buscando responder as lacunas na literatura além de contribuir com novas perspectivas. Assim, esses três ensaios forneceram uma visão abrangente e integrada das energias renováveis no Brasil, contribuindo para a literatura e para a formulação de políticas públicas no setor.