



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS
BACHARELADO EM RELAÇÕES INTERNACIONAIS

ALBA FRANCIMARA GONÇALVES TAVARES

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AGENDA DE INOVAÇÕES: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA BRASILEIRA SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA
ALTERNATIVA**

JOÃO PESSOA

2023

ALBA FRANCIMARA GONÇALVES TAVARES

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AGENDA DE INOVAÇÕES: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA BRASILEIRA SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA
ALTERNATIVA¹**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro de Ciências Sociais Aplicadas como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharela em Relações Internacionais pela
Universidade Federal da Paraíba.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Elia Cia Alves

JOÃO PESSOA

2023

¹ Esta monografia é fruto da pesquisa de Iniciação Científica intitulada “International Relations Innovation Systems (IRIS): impulsionando sistemas internacionais de inovação através de revisão sistemática de literatura e mapas de conhecimento científico”, financiada pelo CNPq, bolsa nº PIE15627-2022.

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

T231m Tavares, Alba Francimara Goncalves.

Mudanças climáticas e a agenda de inovações: uma
revisão sistemática da literatura brasileira sobre
geração de energia alternativa / Alba Francimara
Goncalves Tavares. - João Pessoa, 2023.
59 f. : il.

Orientação: Elia Elisa Cia Alves.
TCC (Graduação) - UFPB/CCSA.

1. Cientometria. 2. Inovação. 3. Transição
energética. 4. Mudanças climáticas. I. Alves, Elia
Elisa Cia. II. Título.

UFPB/CCSA

CDU 327

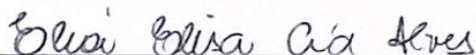
ALBA FRANCIMARA GONCALVES TAVARES

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AGENDA DE INOVAÇÕES: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA BRASILEIRA SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA
ALTERNATIVA**

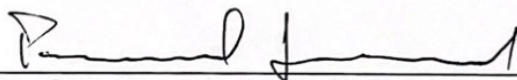
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Relações Internacionais do Centro
de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA) da
Universidade Federal da Paraíba (UFPB),
como requisito parcial para obtenção do grau
de bacharel (a) em Relações Internacionais.

Aprovado(a) em, 01 de Novembro de 2023

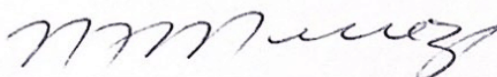
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Elia Elisa Cia Alves – (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. Pascoal Teófilo Carvalho Gonçalves
Universidade Federal Da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. Henrique Zeferino de Menezes
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por ter me ajudado e conduzido até aqui; e mesmo cambaleante, pela fé que mantive na vida e em mim mesma.

À minha família, sou inefavelmente grata pelo apoio e pela presença diária, mesmo quando através de telas e sem o aconchego físico que tanto faz falta nos momentos de complicação dessa vida. Sou grata por Deus ter me concedido uma pessoa tão sensível, amável e amiga quanto a minha mãe; sem a doação dos seus valiosos tempo e dedicação eu sem dúvidas não teria conseguido viver tantas experiências na graduação. Ao meu irmãozinho (que já não é mais pequeno), agradeço por ter sido meu porto seguro e parceiro de vida inteira, sensato nos conselhos e generoso nas afirmações. Sou grata aos conselhos e incentivos também do meu pai, que enxerga força em mim quando por vezes não consigo e motiva minha busca por uma independência que eu nem sabia que precisava.

Agradeço à professora Elia, pelos ensinamentos valiosos e confiança depositada quando aceitou orientar o início da minha trajetória como pesquisadora. Ter tido a oportunidade de participar de uma Iniciação Científica mudou a minha vida acadêmica, profissional e pessoal. Menciono também neste parêntesis minha gratidão à Palloma, por todas as discussões instigantes, e Júlia, que dividiu esse ano de pesquisa comigo. Foram horas e horas encarando o computador, incerta sobre o que escrever ou como amarrar análise na teoria. Ali, eu redescobri o significado de persistência, tanto no sentido de não desistência quanto no da avidez investigativa que nos domina sempre que pesquisamos algo que gostamos. No fim das contas, inevitavelmente, o internacionalista é um eterno pesquisador.

Aos demais docentes do DRI e aos que pude ter contato na UFPB como um todo durante esses anos, torno pública minha gratidão, pelas lições e correções que moldaram meu início de carreira.

Agradeço também aos meus amigos de curso que dividiram conquistas, momentos e a vida universitária comigo. Em especial, faço menção à Maria Vitória, Thais, Bruno e Rafaella, os quais pude acompanhar de perto ao longo desses últimos (quase) cinco anos. Sou grata também à Líderi, por ter aberto as portas profissionais para mim e proporcionando o encontro com pessoas tão iluminadas quanto Sabine. Vocês coloriram os desafios da graduação e deram leveza aos meus dias de luta na UF.

RESUMO

O aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) é atribuído, principalmente, ao consumo histórico excessivo de combustíveis fósseis, fontes de energia intensivas em carbono. Dado o papel fundamental da energia nesse contexto, o regime internacional de mudanças climáticas estabelece a transição energética para fontes alternativas como uma via necessária à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. O caráter desses problemas, complexo e interconectado, exige a coordenação dos atores em um sistema nacional de inovação (SNI) capaz de estimular e endossar o desenvolvimento de inovações que apoiem os compromissos ambientais internacionalmente assumidos. O presente estudo objetivou identificar a aderência da produção científica brasileira sobre energias alternativas, nas áreas de ciências sociais e engenharias, às agendas de mudanças climáticas e da inovação. A análise foi conduzida sob a perspectiva da economia evolucionária e apropriando-se metodologicamente de técnicas de mapeamento científico, mediante uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), da qual resultaram 47 artigos para análise. Dentre os vários resultados da pesquisa, destaca-se que embora a diferença entre a produção científica brasileira antes e após 2015, ano da assinatura do Acordo de Paris, não tenha sido significativa em termos absolutos, de maneira relativa o número de estudos que tratou das mudanças climáticas duplicou de um período para o outro, com uma complexificação substantiva da agenda. No tangente à agenda de inovação, menos de um terço dos artigos abordou qualitativamente o tema, embora a maioria tenha se encontrado inserida ao menos indiretamente em um contexto de produção de conhecimento inovador, tendo o Estado como o ator mais envolvido nos processos de fomento da pesquisa científica básica no setor.

Palavras-chave: cientometria; inovação; transição energética; mudanças climáticas.

ABSTRACT

The increase in greenhouse gas (GHG) emissions is mainly attributed to the historical over-consumption of fossil fuels, which are carbon-intensive energy sources. Given the fundamental role of energy in this context, the international climate change regime establishes the energy transition to alternative sources as a necessary way of mitigating the effects of climate change. The complex and interconnected nature of these problems requires the coordination of actors in a National System of Innovation (NSI) capable of stimulating and endorsing the development of innovations that support the environmental commitments made internationally. The aim of this study was to identify the adherence of Brazilian scientific production on alternative energies, in the areas of social sciences and engineering, to the climate change and innovation agendas. The analysis was conducted from the perspective of evolutionary economics and methodologically using scientific mapping techniques, through a Systematic Review of Literature (SRL), which resulted in 47 articles for analysis. Among the various results of the research, it is valid to highlight that although the Brazilian scientific production before and after 2015, the year the Paris Agreement was signed, did not differ significantly in absolute terms, in relative terms the number of studies dealing with climate change doubled from one period to the other, with a substantive complexification of the agenda. With regard to the innovation agenda, less than a third of the articles dealt qualitatively with the subject, although the majority were at least indirectly inserted in a context of innovative knowledge production, with the state as the actor most involved in the process of promoting basic scientific research in the sector.

Palavras-chave: scientometric; innovation; energy transition; climate change.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 O ACORDO DE PARIS NO PANORAMA HISTÓRICO-INSTITUCIONAL DA AGENDA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	10
3 SISTEMAS DE INOVAÇÃO E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: ELEMENTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS.....	17
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	24
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	27
5.1 PANORAMA BIBLIOMÉTRICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA.....	27
5.2 PRÉ-ACORDO DE PARIS E A EXPANSÃO DAS FONTES ALTERNATIVAS NO BRASIL (2004-2014).....	35
5.3 PÓS-ACORDO DE PARIS E A COMPLEXIFICAÇÃO DA AGENDA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2016-2022).....	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios contemporâneos no combate às mudanças climáticas se encontra na consolidação de uma economia de baixo carbono, baseada em fontes de energia renovável². Para cimentar o caminho da transição energética, entende-se que uma gama de atores variados deve ser mobilizada em torno de esforços que visem à inovação, dada a complexidade do desafio e o teor essencial da energia para sociedade contemporânea. Entender os desenvolvimentos no setor energético é fundamental para compreender a seriedade com a qual é tratado o tema das mudanças climáticas, visto que esse setor constitui a parcela da economia com maior contribuição para as emissões líquidas globais de gases de efeito estufa (GEEs) – 34% das emissões líquidas de dióxido de carbono (CO₂) em 2019, correspondentes a 20 Gt CO₂eq (IPCC, 2022).

A transição energética é, portanto, encarada como uma das prioridades na agenda internacional do clima, visando à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Um dos marcos fundamentais para a agenda climática internacional foi, em 2015, o estabelecimento do Acordo de Paris, com o objetivo de dar continuidade aos esforços do Protocolo de Kyoto de 1997, no âmbito da United Nations Climate Change Convention (UNFCCC), mas a partir de uma participação mais abrangente da comunidade internacional (Souza; Corazza, 2017). Na mesma ocasião, foram estabelecidas as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês), permitindo aos países a apresentação de metas de descarbonização para suas respectivas matrizes energéticas.

De um lado, um dos vetores mais promissores para o processo de redução da concentração de carbono na atmosfera, denominado de descarbonização, é mediante a eletrificação de setores, tais como o de transportes, e processos econômicos. Entretanto, a maioria dos países ainda se apresenta amplamente dependente da energia fóssil – em torno de 80% do consumo total de energia (IEAa, 2022), sinalizando a importância de sua substituição através da promoção de fontes de energias alternativas às fósseis, tais como as renováveis (eólica, solar, hidráulica e fontes a partir da biomassa) e a nuclear.

Uma transição energética para fontes de energia alternativas, entretanto, demanda o emprego de recursos e um planejamento de longo prazo sustentável, o que se mostra desafiador. Isso porque, nesse processo de associação entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, é importante considerar uma série de aspectos, como o papel das inovações para viabilizar soluções de transição energética (e potencializar o desenvolvimento nacional

² Entendam-se fontes naturalmente restituíveis, com disponibilidade limitada por unidade de tempo, como a geotérmica, solar, hidrelétrica, eólica e energia a partir da biomassa (EIA, 2023).

de longo prazo), a necessidade de coordenação interna para gerir tais inovações, o papel da cooperação, nacional e internacional, no fomento à economia do conhecimento e a necessidade de um ecossistema de inovação bem articulado (Mazzucato, 2021).

Dada a importância das duas temáticas, cabe se perguntar: como a produção científica brasileira sobre energias alternativas tem respondido aos desenvolvimentos nas agendas de mudanças climáticas e da inovação? A escolha do Brasil como recorte geográfico se deu pela necessidade de compreender o *status quo* de um país periférico que, de um lado, apresenta diversos constrangimentos financeiros, políticos e institucionais para investir em inovações – além da existência de um Sistema Nacional de Inovação (SNI) falho e pouco articulado, que, até onde foi possível observar, parece não promover a transição energética como um projeto de Estado – mas, de outro lado, dispõe de uma ampla diversidade e dotação de fontes energéticas alternativas à disposição. Uma vez mapeados os pólos de produção e as fontes alternativas trabalhadas, o trabalho permitirá pensar o potencial do Brasil no aprimoramento do SNI, especialmente em sua dimensão energética.

Para responder ao questionamento, o objetivo geral deste trabalho é identificar a aderência da produção científica brasileira sobre energias alternativas, nas áreas de ciências sociais e engenharias, às agendas de mudanças climáticas e da inovação. A análise foi conduzida sob a perspectiva da economia evolucionária e apropriando-se metodologicamente de técnicas de mapeamento científico – notadamente a bibliometria, que objetiva analisar os insumos da produção acadêmica; e a cientometria, cujo objetivo é explicar a produção de conhecimento científico e seus desdobramentos socioeconômicos (Clemente, 2022).

Buscou-se, especificamente: i) traçar um panorama histórico-institucional da relevância do Acordo de Paris na agenda de mudanças climáticas, com enfoque na necessidade de investimentos em novas tecnologias para alcançar a transição energética; ii) mobilizar os conceitos teóricos relativos aos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) e à produção de conhecimento científico, relacionando com a agenda da transição energética; e iii) mapear sistematicamente a produção científica brasileira de 2002 até 2022, que aborda a temática das fontes alternativas de geração de energia elétrica, no âmbito da agenda climática, identificando sua aderência às agendas de mudanças climáticas e da inovação, sob a perspectiva da teoria evolucionária.

Duas hipóteses foram inicialmente elencadas: a) a maior aderência à temática das mudanças climáticas contribuiu para um aumento da produção científica sobre energias alternativas, a partir da ótica da inovação; e b) pesquisas sobre tecnologias de grande impacto emergem em sistemas de inovação, envolvendo atores privados, públicos e academia.

Com vistas ao acima referido, o presente trabalho se encontra dividido em 3 seções, nas quais serão discutidos: 1) o panorama histórico-institucional da relevância do Acordo de Paris para a agenda de mudanças climáticas na transição energética; 2) os conceitos da Teoria dos Sistemas Nacionais de Inovação e da produção de conhecimento, considerando os escopos regional, nacional e internacional (com foco para o primeiro) e a sua constituição elementar para tais sistemas, enfatizando a complementaridade dos atores envolvidos no processo como fundamentais para a geração de inovações e o fomento à transição energética e 3) a análise sistemática da produção científica brasileira até 2022, sobre a geração de energia elétrica a partir de fontes de energia alternativas, no âmbito da agenda climática e a partir da ótica teórica da inovação.

2 O ACORDO DE PARIS NO PANORAMA HISTÓRICO-INSTITUCIONAL DA AGENDA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas são um desafio fundamentalmente complexo, relacionado ao crescimento histórico de emissões de GEEs, que aumentam a temperatura global. Aquecimento global, derretimento de geleiras e consequente aumento do nível do mar são apenas alguns dos efeitos do aumento histórico de emissões de GEEs (Gordon, 2016). O impacto dessas mudanças, de caráter global, possui uma natureza coletiva e altamente interconectada, em maior ou menor escala.

Em sua dimensão institucional, a agenda internacional de mudanças climáticas passou por alterações importantes nas últimas três décadas, como a assinatura da Convenção Quadro de Mudanças Climáticas da ONU (UNFCCC, em inglês), em 1992, na ocasião da Segunda Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, e, em 1997, a assinatura do Protocolo de Kyoto. Esse último se estabeleceu sob o pressuposto de uma atribuição justa de responsabilidades pela mitigação dessas emissões, consistindo em seu escopo na reunião dos principais países responsáveis pelo acúmulo de emissões de GEE (Souza; Corazza, 2017).

O Acordo de Paris, assinado em dezembro de 2015, constituiu-se no ingrediente inovador que em última instância permitiu o avanço das negociações climáticas multilaterais (Wolfe; Procter; Kreienkamp, 2017). Para auferir a dimensão das principais mudanças na agenda climática provocadas pelo Acordo de Paris, cabe realizar comparações pontuais, entre o comportamento da agenda na vigência dos dois períodos de compromisso do Protocolo de Kyoto e quais as principais diferenças com o novo tratado.

Nasiritousi e Bäckstrand (2018) caracterizam o Acordo de Paris como uma “mudança tectônica nas políticas climáticas globais” (Nasiritousi; Bäckstrand, 2018, pág. 2, tradução nossa). Nesse sentido, para as autoras haveria três esferas nas quais o tratado internacional se destacaria enquanto uma inovação na agenda climática. Primeiramente, enquanto um tratado de caráter universal, o Acordo de Paris propôs um novo desenho institucional de responsabilização de ambos países desenvolvidos e países em desenvolvimento, diferentemente do arranjo acordado no Protocolo de Kyoto.

A determinação de mecanismos vinculantes a apenas 38 economias industrializadas durante o primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto, entre 2008 e 2012, juntamente à dificuldade ou incapacidade de alcançar as metas foram vistas como dois fatores

que causaram relutância dessas economias em se vincularem à agenda climática (Nasiritousi; Bäckstrand, 2018). A exemplo disso, Canadá, Rússia, Japão e Nova Zelândia, Estados Unidos – o último sendo o maior emissor de GEE à época – se recusaram a participar do segundo período de compromisso (2013-2020), de modo que o Protocolo e os mecanismos institucionais dele derivados, tais como mercados voluntários de carbono, tornaram-se esvaziados (Tiseo, 2023). Se, por um lado, o desenho institucional de Kyoto havia proposto a responsabilização internacional dos países que historicamente mais poluíram, por outro, a ausência do engajamento político desses atores no processo contribuiu para que qualquer compromisso tomado sob o alicerce de Kyoto obtivesse “resultados não-cooperativos” e pouco abrangentes (Victor, 2006, p.91).

Em termos de redução de emissões no primeiro período de compromisso de Kyoto (2008-2012), os resultados alcançados entre o início e o final dos quatro anos de vigência não se provaram significativos, se considerado o contexto global. A redução de emissões de GEE oscilou entre 7% e 12,5% nesse período, em comparação aos níveis de 1990, embora tenham superado a meta estabelecida pelos países desenvolvidos, de uma redução de 5,2% em relação aos níveis de 1990 (Bassetti, 2022).

Em paralelo, os países em desenvolvimento aumentaram significativamente suas emissões de GEE durante o primeiro período de compromisso de Kyoto, nesses quatro anos contabilizando um crescimento de cerca de 30% em relação aos níveis de 1990 (Ritchie; Roser, 2021). O aumento dessas emissões se encontra, em parte, relacionado aos saltos de crescimento de economias emergentes, especialmente na primeira década do milênio. Em retrospecto, de 1990 a 2010 o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) dessas economias passou de 4,2 para 22,96 trilhões de dólares (FMI, 2023), com um aumento acumulado de mais de 80% de suas emissões de GEE nos 20 anos mencionados (Ritchie; Roser, 2021).

O cenário instaurado, dessa forma, se mostrou conflituoso: enquanto havia um apelo geral por parte dos países desenvolvidos para que os países em desenvolvimento assumissem compromisso de redução de emissões, os países em desenvolvimento alegavam que aqueles haviam falhado em tomar a liderança na redução de emissões. Sob essas circunstâncias os negociadores conduziram a Conferência Climática de 2009 (na qual começava-se a estruturar um tratado para suceder o Protocolo de Kyoto), em Copenhague. A Conferência de Durban, em 2011, foi um outro momento de preparação para o Acordo de Paris, tornando obrigatória a redução de emissões para todos os países (Souza; Corazza, 2017).

Em 2015, a Assembleia Geral da ONU, na UN Summit em Nova York em setembro de 2015, aprovou a Agenda 2030, com um novo foco no desenvolvimento internacional para a

era pós-2015. Nesse sentido, a Agenda é vista como uma evolução do que foi o primeiro arranjo da ONU a criar objetivos de desenvolvimento sob a presença de um prazo (*time-bound*), os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODMs), estabelecidos após a Cúpula do Milênio das Nações Unidas em 2000. Os ODMs se mostraram falhos especialmente por dois fatores: mesmo quando expressados como setoriais, os objetivos não seriam alcançados por meio de políticas isoladas (pois possuem uma natureza sistêmica e interconectada) e, o desenho dessas políticas é mais efetivo quando há um engajamento político forte e um compromisso com as metas estabelecidas (Mohieldin *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a tentativa de sistematizar as ações a serem tomadas pelos mais diversos atores no combate às mudanças climáticas e o fomento ao desenvolvimento internacional sustentável no longo prazo foram consubstanciados em um conjunto de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas vinculadas que introduziram a ideia de transversalidade de temas na agenda internacional (Nasiritousi; Bäckstrand, 2018). Por um lado, a Agenda 2030 enfatizou a responsabilidade dos governos em coordenação, implementação, certificação e monitoramento. Por outro lado, contribuiu para abrir o espaço a outros atores importantes que podem fazer avançar a Agenda 2030, como o setor privado, a academia e a sociedade civil (Mohieldin *et al.*, 2023, pág. 29, tradução nossa).

Observou-se em adição, que os investimentos necessários para o alcance dessas metas seriam sem precedentes e que, portanto, empresas nacionais públicas e privadas teriam um papel fundamental para os investimentos na transição energética para fontes menos intensivas em combustível fóssil. Embora seja melhor incorporada no ODS 7 (Energia limpa e acessível) – uma vez que é o que melhor se integra às dimensões de eficiência energética, acesso a energia e transição energética no escopo onusiano (Feitosa; Mesquita, 2023) –, a questão energética mobiliza uma série de outros objetivos, com destaque para o 9 (Indústria), o 13 (Mudanças climáticas) e o 17 (Parcerias para os objetivos). Nesse sentido, ambas a COP21 e a Agenda 2030 foram essenciais no processo de mesclar as discussões sobre desenvolvimento econômico e planejamento de longo prazo com a necessidade de desvinculação da energia fóssil (Gonzalez-Perez, 2017), considerando as discussões sobre proteção ambiental e desenvolvimento intrínsecas à questão fóssil.

Ainda em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) no mês de dezembro, foram negociados os termos do Acordo de Paris, no qual foi reconhecida a necessidade de restringir a temperatura global para menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais até 2030. Os países concordaram, ademais, com o estabelecimento de uma meta mais ambiciosa – a limitação desse aumento de temperatura a 1,5° C acima dos níveis pré-industriais (ONU,

2015, Art. 2) até 2100 – de acordo com o relatório publicado pelo IPCC em 2022, tecnicamente pouco provável; possível, sob a tomada de medidas urgentes (IPCC, 2022).

O Acordo de Paris representou, dessa forma, um marco sem precedentes na agenda internacional do clima. Substituiu o sistema vertical de alvos e cronogramas rígidos de implementação (*targets and timetables*) por um mais horizontalizado, baseado em promessas e revisões periódicas (*pledge and review*). Obteve uma adesão maior e menos de um ano depois das negociações, o tratado entrou em vigor, no dia 4 de novembro de 2016. Com esse feito, o Acordo de Paris atingiu o recorde de tratado internacional de escopo abrangente internacional assinado mais rapidamente (Wolfe; Procter; Kreienkamp, 2017).

Foi nessa ocasião que foram estabelecidas as Contribuições Nacionalmente Determinadas – do inglês *Nationally Determined Contributions* (NDCs) –, que são atualizadas a cada cinco anos e têm como objetivo tornar os governos articuladores centrais do ambiente doméstico, ao mesmo tempo em que engajam a participação dos demais atores. São elas que sintetizam, em grande medida, a disposição internacional dos países no refreamento das mudanças climáticas, através da definição nacional de metas para redução de emissão de GEEs (ONU, 2015, Art. 3). Assim, pode-se afirmar que a criação de NDCs institucionalizou o caráter de participação ampliada do novo arranjo.

Em 2015, o Brasil se comprometeu em reduzir as suas emissões em 37% até 2025 e 43% até 2030, em comparação com o cenário de emissões de 2005. O país incorporou, em 2022, à sua segunda versão de NDC, o compromisso de ampliar sua ambição para uma redução de 50% de suas emissões até 2030, além de alcançar emissões líquidas neutras até 2050, mediante a contabilização de projetos de captura de carbono (como plantio de florestas, recuperação de biomas) e o fomento a outras tecnologias, através da ampliação da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira (BNDES, 2023).

Vale mencionar que, se por um lado o compartilhamento da responsabilidade sobre a redução de emissões pode engajar mais diretamente países em desenvolvimento no processo, ao mesmo tempo retira parte do peso da descarbonização daqueles desenvolvidos – cujas emissões ainda ultrapassam significativamente, em termos per capita e cumulativo, as de países em desenvolvimento (IPCC, 2022). No entanto, para além disso (e considerando o foco do presente trabalho), o Acordo de Paris trouxe mudanças de arranjo importantes para a agenda climática, na medida em que os países passaram a se mobilizar com maior vigor para fomentar iniciativas em favor da redução de emissões, como políticas de apoio à fontes renováveis (Alves et al., 2019).

Adicionalmente, o Acordo de Paris deu vida a um arranjo multilateral de arquitetura híbrida, no qual diversos atores, estatais e não-estatais, passaram a ser convidados e mobilizados para auxiliar nas ações de fomento às ações de combate às mudanças climáticas. Dessa forma, não apenas os Estados nacionais, mas governos subnacionais, empresas, a sociedade civil e a academia foram incorporados institucionalmente como partes interessadas. Considerando que o processo de descarbonização envolve custos de oportunidade e ocasiona a criação de partes assimetricamente afetadas, é fundamental que todos os atores participem da construção de medidas em direção à transição para uma economia de baixo carbono, menos intensiva na utilização de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e petróleo) (Wolfe; Procter; Kreienkamp, 2017).

Energias renováveis são fontes centrais nesse debate. São caracterizadas enquanto energias renováveis aquelas fontes que são naturalmente restituíveis, cuja disponibilidade é limitada por unidade de tempo, como a geotérmica, solar, hidrelétrica³, eólica e energia a partir da biomassa (EIA, 2023). Nesse sentido, dos pontos de vista ambiental e socioeconômico as energias renováveis geram o menor impacto ambiental dentre todas as demais fontes, facilitam o desenvolvimento de soluções locais e podem oferecer maior segurança em termos de disponibilidade, bem como sua exploração emite relativamente menos que outras fontes (Farret; Simões, 2006).

Apesar da importância de fontes renováveis, as estimativas sobre o crescimento do consumo de energia, em meio à transição energética, ainda prescindem de uma outra variável: a energia nuclear. A indústria atômica apresenta a energia nuclear como uma solução eficiente no combate às mudanças climáticas. Em termos de investimentos, países como China, Finlândia e Paquistão vêm se destacando na construção de reatores nucleares, enquanto a França, Estados Unidos e Rússia têm mantido o foco na modernização da infraestrutura atômica através da extensão do tempo de vida dos reatores existentes. Dessa forma, além das energias renováveis, o foco de investimentos (e de inovação), tem se expandido para as energias alternativas de forma geral, com destaque para as fontes eólica, solar, fontes a partir da biomassa e a nuclear (IEA, 2022).

³ É importante destacar que, embora considerada renovável por alguns autores, visto que deriva de um elemento restituível na natureza, a fonte hidrelétrica obrigatoriamente envolve a mobilização de áreas significativas para a construção da infraestrutura de geração de energia, o que pode impactar fortemente a biodiversidade local (FARRET; SIMÕES, 2006).

O crescimento anual de investimentos em tecnologias limpas⁴ passou de cerca de 2% ao ano em 2015 (após a assinatura do Acordo de Paris) para 12% em 2020, salto alavancado especialmente pelas energias renováveis, com o setor fotovoltaico liderando a categoria de investimentos globais em geração de energia desde 2019. No geral, os investimentos em tecnologias alternativas apresentaram crescimento relativo maior nos últimos 10 anos, em comparação a tecnologias poluidoras (IEA, 2022).

Exceto pelas atividades de transporte e aquecimento doméstico, as energias limpas são majoritariamente encontradas em aplicações⁵ de energia elétrica⁶. Nesse sentido, diferentemente da energia fóssil, na qual uma só fonte energética é convertida em uma variedade de outros produtos (de combustíveis automotivos até a fabricação de plásticos), no caso da eletricidade há a conversão de diversas fontes em um só produto (a energia elétrica), que possui ampla aplicabilidade e pode ser distribuída para processos como os de iluminação, aquecimento e ativação de motores e equipamentos industriais (Nersesian, 2007). Enquanto para países cujas matrizes elétricas dependem fortemente de energia fóssil os desafios de transição se concentram no uso de fontes primárias menos poluentes, no caso do Brasil (cuja matriz elétrica já é majoritariamente renovável) a eletrificação de processos constitui uma alternativa eficaz no processo de substituição de combustíveis fósseis (EPE, 2022).

A substituição dos vastos usos da energia fóssil é um dos maiores desafios a serem superados pela transição energética, mas a energia elétrica pode oferecer oportunidade para tornar as matrizes mais limpas. Nesse sentido, a eletrificação de setores e processos econômicos oferece flexibilidade na determinação da fonte primária, configurando uma solução promissora na pavimentação do caminho para a transição energética.

Tal transformação nos sistemas energéticos exige um novo ecossistema de governança (CEPAL, 2023). Dessa forma, a proliferação de ações de coordenação precisam de uma visão multissetorial e abrangente das políticas de sustentabilidade, com uma abordagem de

⁴ Nesse cálculo a IEA (2022) também considerou como tecnologias limpas para além da geração de energia, a partir das fontes nuclear e renovável, investimentos em veículos elétricos, combustíveis de baixo carbono e tecnologias de *carbon capture, utilisation and storage* (CCUS), distribuição em redes e estocagem, eficiência energética e outros usos.

⁵ Nersesian (2007) explora algumas nuances técnicas, caracterizando a eletricidade como uma carga medida em coulombs, a energia elétrica como uma fonte medida em joules e a geração ou descarga elétrica, como uma corrente de energia avaliada em unidade de tempo, em watts (um joule por segundo). Neste trabalho, para fins de simplificação, os termos anteriormente descritos serão utilizados de forma intercambiável.

⁶ Esse processo de conversão em energia elétrica se dá a partir da rotação de uma turbina, que estimula um gerador de eletricidade. É essencialmente na rotação da turbina que as fontes energéticas diferem, sendo a geração de vapor (mais comum) utilizada a partir das energias fósseis, derivadas da biomassa em alguns casos, geotérmica e nuclear. A energia eólica, bem como fontes a partir da queda de água, utilizam da energia mecânica para rotação da turbina, enquanto as células fotovoltaicas possuem a vantagem adicional de converterem diretamente a energia solar em elétrica (Nersesian, 2007).

envolvimento de governos centrais e regionais, bem como com a atração do setor privado, para que a definição de prioridade e preferências aconteça de forma compartilhada.

Mazzucato (2021) estabelece, nesse sentido, o planejamento político *mission-oriented*, que enxerga na criação de um propósito de longo prazo em políticas nacionais a possibilidade de solução de problemas complexos e altamente interconectados – como as mudanças climáticas. Trata-se de balizar os esforços em torno de soluções para um problema que afeta vários setores e abre a possibilidade de transformação de todo o sistema. Observando essa demanda do sistema institucional, considera-se a Agenda 2030 como um instrumento para o cumprimento do Acordo de Paris, vinculando os ODS e as NDCs como vetores de iniciativas *mission-oriented* (Mazzucato, 2021; Mohieldin *et al.*, 2023).

Em síntese, essa seção buscou evidenciar que as relações internacionais no que tange ao desafio das mudanças climáticas apontou para a necessidade da evolução de um desenho institucional limitado a poucos estados, tal qual representava o Protocolo de Kyoto (ONU, 1997) para iniciativas de amplo escopo coletivo, envolvendo diversos atores, em diferentes níveis decisórios. De modo que, observou-se uma transição na compreensão da responsabilização em relação à problemática das mudanças climáticas, de modo que diferenças significativas nessa agenda só seriam alcançadas a partir de esforços de mobilização organizados de maneira coordenada e conjunta (Ostrom, 2010).

Souza e Corazza (2017) argumentam que, por representarem problemas sistêmicos e complexos com ciclos retroalimentação, as mudanças climáticas não permitem atribuir responsabilidades pelos seus efeitos – difusos, cumulativos e transfronteiriços – de forma simples. Nesse sentido, uma mudança paradigmática requer um planejamento de longo prazo, idealmente em um espaço adaptado e oportuno para o estabelecimento de cooperação, onde políticas em setores estratégicos, como o energético, possam estimular e apoiar o desenvolvimento do que é considerado um dos principais pilares do desenvolvimento econômico pós-Industrialização: o sistema de inovação, apresentado na seção a seguir.

3 SISTEMAS DE INOVAÇÃO E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: ELEMENTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS

A inovação é investigada sob diferentes perspectivas na academia. Aqui, é apresentada segundo a vertente da economia evolucionária/neoschumpeteriana, que entende que a inovação atua como um elemento essencial ao desenvolvimento econômico.

Nessa lente teórica, a inovação pode ser definida como “a configuração de uma nova função de produção” (Schumpeter, 1939, p. 85), consistindo na geração de novas combinações. Vale pontuar, no entanto, que a mera geração de novas combinações não permite que os termos “inovação” e “invenção” sejam intercambiáveis. A partir de inovações há a geração de efeitos econômicos relevantes, algo que não necessariamente compõe a natureza das invenções. O mesmo se aplica às adaptações corriqueiras dos meios de produção, que não deveriam ser consideradas inovações, visto que atuam como atividades econômicas rotineiras e não necessariamente possuem valor substancial para o panorama geral da economia (Schumpeter, 1939).

Ao desenvolver seus argumentos com base na teoria schumpeteriana, Lundvall (2010) apresenta o termo inovação como um processo cumulativo, que envolve o surgimento de novos produtos. A inovação se pronuncia como um elemento interativo entre a estrutura econômica e as instituições instaladas, através do aprendizado gerado nas atividades de produção, distribuição e consumo⁷, capazes de desencadear novos processos e/ou produtos. Nessa perspectiva, as instituições, na condição de atores que promovem processos de maneira organizada, seriam responsáveis por delinear as interações entre os atores e teriam um papel crucial no estímulo à inovação, pois seriam capazes de inserir o espaço necessário à proliferação do conhecimento na estrutura produtiva vigente (Lundvall, 2010).

Os valores econômico e social das inovações podem variar conforme seu potencial de difusão e o caráter de tais mudanças. Para distinguir entre melhorias incrementais e inovações radicais, pensar em termos técnicos e econômicos pode ajudar, uma vez que não é incomum que se encaixe nos dois tipos, embora seja “radical em apenas uma das duas dimensões, enquanto permanece incremental na outra” (Lundvall, pag. 13, 2010, tradução nossa). O processo de inovação não pode ser unicamente caracterizado como intencional ou acidental, pois costuma passar por diversas interpretações.

⁷ Como as técnicas de *learning-by-doing*; *learning-by-using*; *learning-by-interacting* (Lundvall, 2010).

Para sistematizar a complexidade de tais processos de inovação dentro da estrutura do Estado nacional, Lundvall (2010) desenvolve uma discussão analítica sobre os Sistemas Nacionais de Inovação (SNIs). Definindo um sistema como um conjunto de elementos permeados pelo relacionamento entre si, os constituintes de um sistema de inovação são dimensionados como os “elementos e relacionamentos que interagem na produção, difusão e uso de conhecimento novo e economicamente útil”, produzido fora ou dentro das fronteiras do próprio Estado (Lundvall, 2010, p. 2).

O conhecimento, resultante de tais interações, consiste em uma das variáveis mais essenciais ao processo de inovação, pois ele constitui um dos recursos mais fundamentais das economias modernas. Nesse sentido, o processo de aprendizagem se caracteriza como o agente impulsionador da inovação. Segundo Lundvall (2010), a relação cíclica se estabelece de tal forma que a produção de conhecimento é capaz de viabilizar a identificação de novos processos (e/ou novas maneiras de conduzir processos vigentes) que, por sua vez, agregam na construção de novos conhecimentos, engendrando o desenvolvimento nacional.

Ademais, Lundvall (2010) caracteriza o SNI enquanto um sistema social. Isto é, para investigar o ambiente sistêmico de fomento à inovação dentro dos Estados, seria necessário incorporar dois aspectos como elementos constitutivos da própria inovação: a sociedade e a configuração da mesma na organização dos processos de aprendizagem. A inovação se desenvolveria, então, através de atividades sociais e interações coletivas.

A análise desse processo interativo poderia ainda assumir uma natureza pouco explorada por Lundvall (2010), mais particularizada que a nacional. Além da possibilidade de analisar as interações coletivas em um setor produtivo específico através do estudo dos sistemas setoriais de inovação, é preciso considerar o efeito difusor das inovações entre diferentes setores, mediante a abordagem voltada para a ciência regional e a economia geográfica, partindo da ideia de um Sistema Regional de Inovação (SRI) (Freeman, 2010).

Baseado em uma análise de interações localizadas e intersetoriais, o estudo de SRIs sustentaria uma investigação mais granular do processo de inovação, avaliando tais subsistemas de exploração do conhecimento através do aprendizado interativo, no qual os centros de pesquisa e instituições de ensino receberiam maior ênfase como clusters locais no processo de inovação (Freeman, 2010).

Cooke (2001) considera, nesse aspecto, o nível subnacional como o mais propício para o desenho e implementação de políticas de inovação. Embora a discussão sobre a relação entre os SNIs e os SRIs seja extensa, a principal ideia parte da premissa de que a intercomunicação regional pode facilitar o compartilhamento de conhecimento. O arranjo

regional nesse contexto implicaria não apenas a mobilização de um orçamento local, mas o formato de administração descentralizada e a inclusão de diversos atores – com destaque para a cooperação com o setor privado – no processo (Cooke, 2001).

Dois seriam os principais subsistemas a compor os SRIs: o subsistema de produção e exploração de conhecimento, marcado pela atuação dos centros de pesquisa e laboratórios públicos e privados; e o subsistema das firmas, que consiste na aplicação no mercado do conhecimento gerado no subsistema anterior (Cooke; Uranga; Etxebarria, 1998). Traçando um paralelo entre os dois sistemas de inovação, o SNI estaria mais inserido na discussão do estabelecimento de diretrizes guiadoras aos processo de inovação, enquanto a análise dos SRIs estaria mais voltada à atuação de cada ator e seu papel nesse sistema (Cooke, 2001).

Nesse sentido, cada Estado nacional dispõe, em maior ou menor grau, de uma trajetória específica de aprendizagem, orientação tecnológica e inovatividade (grau de novidade de um novo produto ou processo); possuindo, em diferentes níveis de estruturação, um SNI. Em cada SNI estão inseridos SRIs com dinâmicas específicas de produção de conhecimento e inovações. Lundvall (2010) segmenta os seguintes elementos constituintes dos SNIs (inseridos consequentemente nos SRIs): organização interna das firmas; relacionamento entre firmas; setor público; configuração institucional do setor financeiro; e intensidade e organização de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (Lundvall, 2010).

Em relação aos dois primeiros elementos, Schumpeter (1939) havia enxergado na atuação das firmas o papel de maior potencializador na difusão de inovações, visto que, mediante o estabelecimento exitoso de uma nova função de produção no mercado, torna-se mais fácil produzir coisas similares, seja de maneira competitiva ou complementar. Nesse sentido, algumas inovações podem afetar uma ampla variedade de setores – como os desenvolvimentos em torno da máquina a vapor, nos setores industrial e energético – portanto, dois pontos devem ser observados: as inovações não se comportam como eventos isolados e não são igualmente distribuídas, mas tendem a se clusterizar, aglutinando-se em certos setores e seus arredores (Schumpeter, 1939).

O setor privado recebe destaque especialmente quando as inovações desenvolvidas são enquadradas como *market-led innovations* – inovações motivadas por desafios ou provocações por parte do setor privado. Nesses espaços, o aprendizado se desenvolve especialmente nas atividades de produção, distribuição e consumo, e não se resume apenas a laboratórios de P&D, mas atua em parceria com os mesmos. Para viabilizar inovações no mercado, a competitividade das firmas locais e nacionais seria proporcionada, em última instância, pelo modelo de organização do próprio SNI (Fromhold-Eisebith, 2007).

Nesse sentido, as articulações por parte do Estado recebem grande atenção, visto que as autoridades nacionais seriam responsáveis por garantir as inovações e desenvolvimentos tecnológicos de um país, de forma sistematizada. Para Lundvall (2010), as modificações e adaptações dos SNIs ao longo dos últimos anos ocorreram em duas principais dimensões, a nacional-cultural e a estadista-política, mas especialmente na segunda. Assim, evidencia-se o papel dos Estados nesse processo, que funcionaram como catalisadores de transformações econômicas muito rápidas, mudanças nos padrões de consumo e inovação como parte integral dos sistemas de produção e evolução institucional (Lundvall, 2010).

O Estado nacional possui, portanto, um papel fundamental como contratante e provedor de fundos para atividades de inovação, uma vez que as mesmas não acontecem somente sob demanda – ou por atividade – do mercado. Mas além de provedor, o Estado pode coordenar as interações dos mais diversos atores e provocar, através dessas interações, uma gama de ideias inovadoras (Freeman, 2010). Nesse sentido, o Estado pode se tornar o planejador de um SNI eficiente e orquestrador de um espaço propício a inovações.

Há dois sentidos de utilização da inovação em um SNI: o sentido amplo e o sentido restrito. No primeiro caso, são englobadas todas as instituições que afetam a introdução, produção e difusão de novos produtos, processos e sistemas, como instituições sociais e condições de mercado. Em contrapartida, o sentido restrito considera apenas um número restrito de instituições, relacionadas diretamente com as atividades técnicas e científicas no processo de exploração tecnológica, como departamentos de P&D, institutos públicos e universidades (Lundvall, 2010).

Para Freeman (2010), foram principalmente as inovações institucionais no sentido mais estrito que impulsionaram mercados de inovações como o norte-americano e o alemão. Em contrapartida, a incapacidade institucional da Grã-Bretanha em escalar e difundir inovações, no sentido mais amplo, acarretou na efemeridade de sua liderança enquanto potência inovadora. Posteriormente, outros países europeus e o Japão seguiram o curso da Alemanha no estabelecimento de redes nacionais de Ciência e Tecnologia (C&T), que garantiram o acesso à informação e ao conhecimento científico. Na ausência de um sistema nacional de inovação que apoiasse serviços e pessoas – mesmo durante o período no qual a tecnologia foi majoritariamente importada –, o desenvolvimento industrial não teria sido possível (Freeman, 2010).

Por isso, o conhecimento gerado em centros científicos têm um grande potencial sobre as inovações, o transbordamento tecnológico, a comercialização e industrialização de novos produtos e serviços geradas em um país. Visto que pode se tornar muito custoso para

organizações aprenderem do zero (*learn-by-doing*) e que, ao mesmo tempo, a difusão desse conhecimento possui consequências positivas para o desenvolvimento econômico, a comunicação interinstitucional e a cooperação entre centros de pesquisa se mostra como uma alternativa menos custosa no processo de inovação. Quando sustentada por políticas públicas de qualidade, a produção de conhecimento pode, ainda na lógica de retroalimentação, subsidiar *policymakers* no desenvolvimento sócio-econômico, fomentando processos de formulação e implementação de *evidence-based policies* (Clemente, 2022).

No sentido de comunicação do conhecimento gerado, Gibbons *et al.* (1994) discutiram a diferenciação dos modos de criação e difusão de conhecimento – entendidos em termos de ideais, métodos, valores e normas – inicialmente, entre o Modo 1 e o Modo 2. O Modo 1 diz respeito à uma estrutura tradicional da comunicação do conhecimento gerado, baseada na organização disciplinada e primariamente cognitiva presente no modelo linear de geração de conhecimento (*scientific-push*), isto é, de geração e solução de problemas no contexto de uma comunidade específica, via de regra acadêmica. Por outro lado, o Modo 2 se apresenta como uma estrutura de entendimento da difusão de conhecimento complementar, relacionada à fluidez dos contextos de aplicação do conhecimento gerado (Gibbons *et al.*, 1994).

Em outras palavras, o Modo 2 foi pensado mediante a emergência de um conjunto de novas práticas sociais e cognitivas que ultrapassaram as barreiras de definição do Modo 1. O contexto de aplicação, dessa forma, incorporou uma nova dimensão, considerando-se a crescente necessidade de adaptação dos moldes de resolução de problemas nas condições de mudança nos ambientes político e econômico. A definição dos problemas no Modo 2, por sua vez, não ocorreria segundo uma estrutura mono ou multidisciplinar, mas a partir de um aparato transdisciplinar e menos rígido (Gibbons *et al.*, 1994).

Diferentemente do Modo 1, no qual a difusão do conhecimento acontece unicamente através de canais institucionais, o Modo 2 permite a comunicação de resultados primeiramente entre os participantes do processo de produção de conhecimento, enquanto sua difusão subsequente ocorreria quando os mesmos participantes se encontrassem em um contexto de problemas divergentes, evidenciando assim o caráter dinâmico e transdisciplinar da resolução de problemas. O Modo 2, no aparato de um SNI interconectado, se mostra mais adequado à compreensão do papel dos centros de produção e difusão de conhecimento, levando em consideração que esse próprio conhecimento não necessariamente é institucionalizado apenas dentro da estrutura universitária, mas incorpora diversos atores e amplia a extensão dos critérios de controle de qualidade (Gibbons *et al.*, 1994).

Analisar as mudanças nessa estrutura de comunicação entre comunidades científicas permite compreender, portanto, os rearranjos de relacionamento institucional entre os três atores-chave de um SNI: a academia, o aparato estatal e o setor privado. Similarmente, Leydesdorff (1997) propôs o modelo da hélice tríplice, pautada nas trocas entre o relacionamento universidade-indústria-governo, a fim de entender os padrões de desenvolvimento regional e a evolução das redes de conhecimento, enraizadas em discursos interativos e reflexivos. Cada hélice representa um subsistema de conhecimento, que por sua vez se conecta com outros sistemas de abrangência regional, nacional e internacional (Barcellos-Paula; Vega; Gil-Lafuente, 2021).

Enquanto os Modos 1 e 2 se encontram mais atrelados ao conceito de hélice tríplice de inovação, o Modo 3 procura ampliar ainda mais a noção de difusão de conhecimento, buscando enfatizar a evolução conjunta e coexistência de modos diferentes paradigmas de inovação e conhecimento. O pluralismo e diversidade nesse caso são vistos como estruturas de suporte ao aprendizado transdisciplinar necessária ao desenvolvimento sócio-econômico. Analisar a trajetória de desenvolvimento de inovações a partir do Modo 3 permite a incorporação de outras dimensões ou “hélices” para a análise, como propõem as abordagens *bottom-up* da hélice quádrupla e da hélice quádrupla, diferentemente da abordagem *top-down* empregada pela hélice tríplice (Carayannis; Barth; Campbell, 2012).

Roman *et al.* (2020) apontam, no entanto, que o modelo da hélice tripla pode ser melhor definido que os demais, visto que alguns estudiosos de SRIs discordam quanto à uma definição exata do modelo de hélice quádrupla, que absorve a sociedade civil – bem como a perspectiva dos consumidores – como o quarto grupo de atores-chaves ao processo de desenvolvimento regional. Haveria, por outro lado, uma aceitação significativa, por parte da mesma comunidade científica, da ampliação que a quarta hélice confere ao entendimento de inovações sustentáveis no longo prazo. As políticas de inovação da União Europeia, por exemplo, posicionam o modelo da hélice quádrupla como condição *ex ante* para o uso dos recursos associados aos Fundos Estruturais e de Investimento Europeus utilizados pela UE (Roman *et al.*, 2020).

Para o contexto da transição energética, entretanto, o modelo da hélice quádrupla é visto como mais abrangente, uma vez que adota também, a dimensão ambiental como uma das hélices, na qual se insere, precisamente, os desafios impostos pelas mudanças climáticas (Carayannis; Barth; Campbell, 2012). Esse modelo é composto pelos subsistemas educacional (dimensão da academia), político (dimensão pública), econômico (dimensão da indústria e setor privado), social (dimensão democrática) e ecológico (dimensão ambiental)

(Barcellos-Paula; Vega; Gil-Lafuente, 2021). Nesse aspecto policêntrico, inovações estratégicas seriam aquelas que fomentariam a colaboração transdisciplinar, capaz de gerar valor aos projetos de transição energética para os atores de cada hélice.

Os resultados de tais inovações podem – e tendem na grande maioria dos casos – a ultrapassar o escopo para o qual foram desenhadas, por se tratar de um processo iterativo entre a estrutura econômica e as instituições instaladas (Lundvall, 2010). Ou seja, a presença de diversos atores em um sistema e o seu relacionamento ativam transbordamentos em cadeia para os demais setores da economia.

Tais transbordamentos não ocorrem apenas entre setores de uma economia, mas entre economias internacionalmente. Nesse sentido, a partir de uma perspectiva mais sistêmica, alguns debates na academia se voltam para o enriquecimento do conceito de sistemas de inovação com a dimensão internacional. Uma das premissas básicas em relação à essa abordagem incorpora os efeitos da globalização – já que, na maioria dos casos, as inovações “dependem de um troca de informações internacional e de colaboração” (Fromhold-Eisebith, 2007, p. 221, tradução nossa).

A construção de uma rede de cooperação de composição mais abrangente exige, portanto, o cálculo e análise de como os vários elementos presentes estão interligados e como podem compartilhar riscos e tomar iniciativas conjuntamente, de modo a gerar resultados positivos. A escolha estratégica de onde essas interações devem ser melhor exploradas pode resultar em desenvolvimentos em áreas como as de sistemas de produção, políticas públicas e, especialmente, comunidades científicas (Fromhold-Eisebith, 2007). Por isso, a necessidade de se mapear tais comunidades.

Do ponto de vista metodológico, há várias possibilidades de mapear a produção acadêmica em determinados temas. As técnicas variam entre diversas ferramentas de revisão de literatura, tais como os estudos métricos da informação (bibliometria e cientometria). Qualquer que seja a técnica empregada, o mapeamento da produção de conhecimento pode representar um potencial fomento à inovação (Clemente, 2022).

Nesse sentido, estimular políticas de inovação no setor de energia se faz necessário ao planejamento de longo prazo. Mais especificamente, observando o potencial da energia elétrica na transição para uma economia de baixo carbono, identificar o padrão de produção científica e viabilizar novas tecnologias se torna uma tarefa fundamental para assegurar a construção de sistemas nacionais mais resilientes e redes de cooperação internacional melhor estruturadas (Puente, 2010). As próximas seções representam um esforço nesse sentido.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo em vista que a análise sobre a produção de conhecimento pode ser concretizada mediante diversos tipos de revisão (Alves *et al.*, 2022), o presente trabalho realizou uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), de caráter descritivo. Nesse sentido, o repositório escolhido para o mapeamento dos estudos foi o Scielo Citation Index (SciELO CI), integrado à plataforma Web of Science (WoS). Essa escolha justifica-se pelo objetivo de investigar a produção acadêmica brasileira, uma vez que parte significativa das revistas acadêmicas brasileiras têm indexação na Scielo, mas não necessariamente na Scopus ou no Web of Science, além de que o tema de geração de energia elétrica, a partir de fontes alternativas, é um campo profuso.

Em adição, a escolha da SciELO CI como base de dados para a presente RSL – enquanto um mapeamento parcial da produção no subsistema educacional – partiu da intenção de compreender o tipo de conhecimento científico difundido na base latinoamericana. Em termos gerais, a decisão por utilizá-la também considerou: a dificuldade da região latinoamericana na manutenção de políticas de longo prazo, baixo o investimento médio em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e o número baixo de pesquisadores em relação ao número de habitantes (Barcellos-Paula; Vega; Gil-Lafuente, 2021).

Visando a garantir uma maior transparência e uma possível reprodutibilidade da pesquisa (Alves *et al.*, 2022), os protocolos adotados seguiram o padrão PRISMA for Scoping Reviews (PRISMA-ScR, 2020)⁸. Na primeira etapa, utilizou-se os descritores: "*alternative energ**" (no intuito de abranger o termo no singular e plural) acompanhado do operador booleano "OR" e as respectivas fontes alternativas de energia elétrica, como "*solar power*", "*wind power*" e "*nuclear power*". Foram extraídos da base de dados: (1) artigos com recorte geográfico para o Brasil; (2) revisados por pares de 2002⁹ a 2022; (3) selecionando campos do conhecimento (engenharias voltadas ao desenvolvimento energético e ciências sociais aplicadas, afim de uma visão panorâmica sobre a produção)¹⁰. Encontrou-se 1.007 artigos, dos quais 271 versavam sobre o Brasil no intervalo temporal definido. Após a aplicação do filtro de extração 3, o número caiu para 111 artigos ao final da primeira etapa.

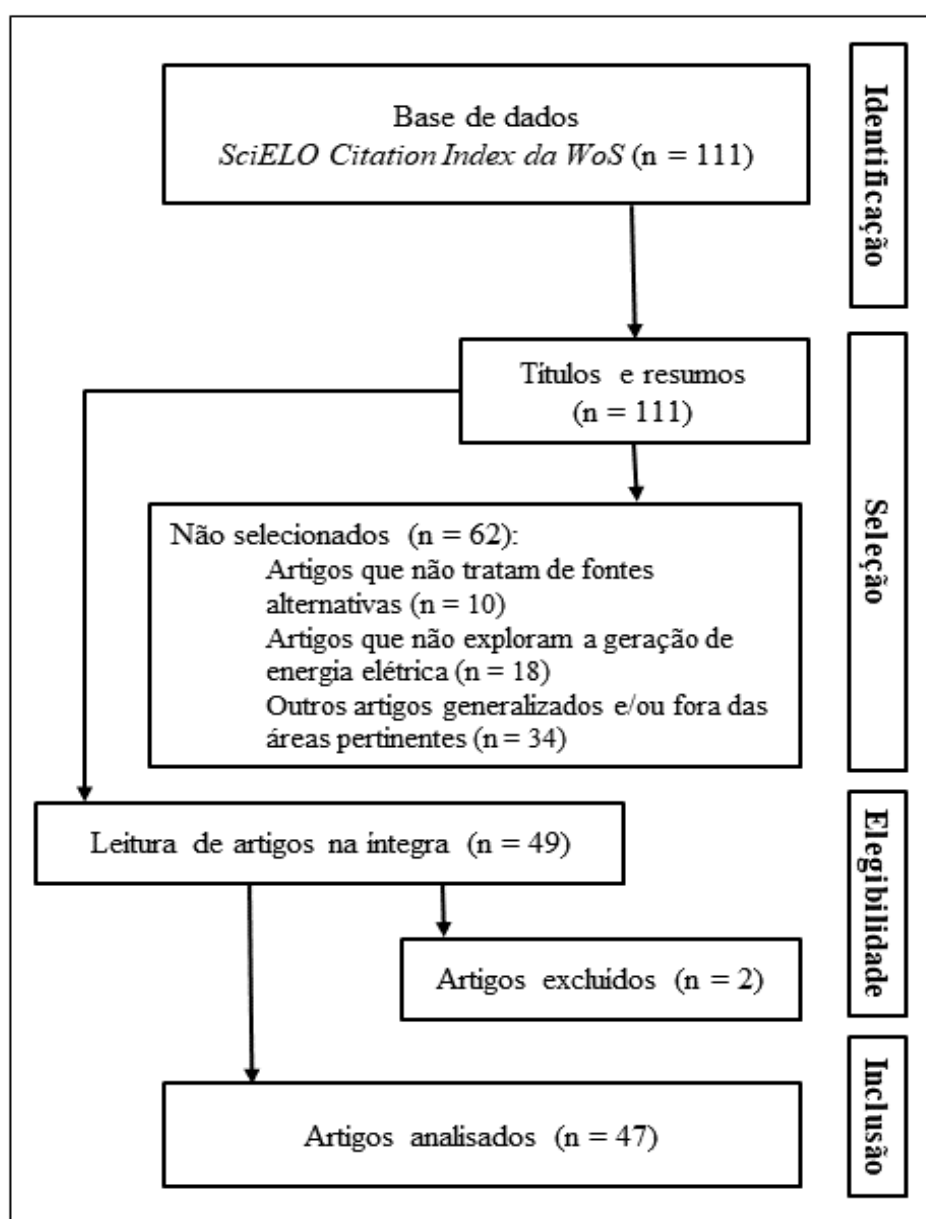
⁸ Para consultar o protocolo adotado na presente RSL, consultar o Anexo I.

⁹ Ano inicial disponível na base SciELO CI da plataforma Web of Science.

¹⁰ As seguintes áreas de pesquisa foram selecionadas: *Engineering; Education Educational Research; Metallurgy Metallurgical Engineering; Social Sciences Other Topics; Business Economics; Environmental Sciences Ecology; Forestry; Water Resources; Sociology; Biodiversity Conservation; Government Law; Public Administration; Science Technology Other Topics; Social Work; Urban Studies; Arts Humanities Other Topics; International Relations.*

Na sequência, foi promovida a leitura de todos os resumos por uma dupla de pesquisadoras às cegas, para verificar a aderência e efetuar a análise das publicações, alcançando o total de 49 artigos. Foram considerados aderentes os artigos que tratavam da geração de energia elétrica no Brasil, a partir da energia alternativa como fonte primária. Após a leitura na íntegra de todos os artigos, dois foram excluídos por não atenderem aos critérios de aderência, culminando no total analisado de 47 artigos, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Diagrama de seleção de trabalhos



Fonte: Elaboração própria com base no PRISMA-ScR (2020).

Para analisar a produção científica sobre o tema, foram determinadas categorias de análise alocadas em dois eixos – bibliométrico e substantivo. No eixo bibliométrico foram elencadas as seguintes categorias de análise: número de autores; quantidade de publicações por região do Brasil; financiamento por alguma agência de fomento à pesquisa. Além dessas categorias, a filiação institucional dos autores (dados que não foram levantados automaticamente pela base) foi mapeada conforme as informações disponíveis sobre as Instituições de Ensino Superior (IES) e outras organizações envolvidas em cada artigo.

Já no eixo substantivo, as categorias buscaram estudar: a conexão com o regime internacional de mudanças climáticas; o envolvimento do Estado no estudo; o envolvimento do setor privado no estudo; a abordagem da inovação nos estudos; e se houve patente registrada vinculada ao artigo. A sistematização detalhada sobre os critérios de cada eixo se encontra disponível no Anexo II, conforme o Protocolo PRISMA-ScR (2020).

Quadro 2 – Sumarização dos procedimentos da RSL

Informações	Crítérios	Resultados
Descritores Termos no Título, resumo ou palavras-chave	<i>"alternative energ*" OR "solar power" OR "solar energy" OR "wind power" OR "wind energy" OR "nuclear power" OR "nuclear energy"</i>	1.007 artigos
Plataforma de busca	SciELO Citation Index	
Data da busca	08/05/2023	
Idiomas	Português, Inglês e Espanhol	
Parâmetro de seleção	Inclusão de artigos de pesquisa acadêmicos publicados até 2022 no Brasil, nas áreas de pesquisa pertinentes à RSL. Exclusão de artigos duplicados e não relacionados à temática de geração de energia elétrica no Brasil a partir da energia alternativa como fonte primária.	47 artigos
Software de análise dos dados	Excel	
Repositório de dados (com artigos mapeados e Anexos)	https://osf.io/kn9xy/	

Fonte: Elaboração própria, adaptação de Alves et al. (2022).

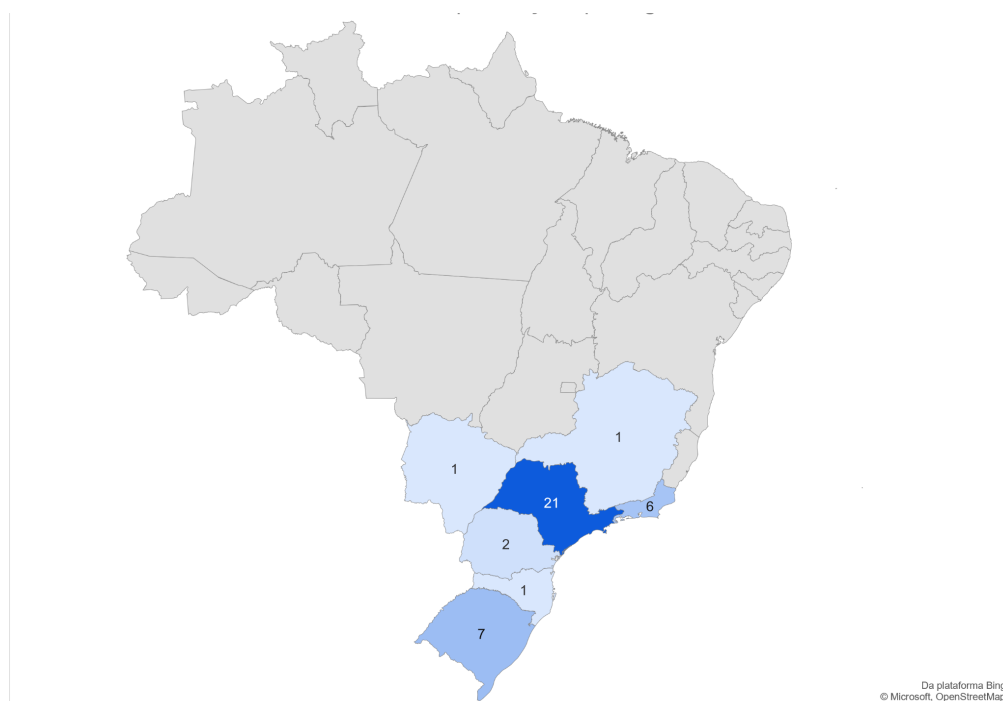
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 PANORAMA BIBLIOMÉTRICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

No que diz respeito à dimensão bibliométrica da presente RSL, faz-se válido levar em consideração que a amostra se encontra composta por uma miscelânea de artigos, de áreas do conhecimento diferentes. Cerca de 26% dos artigos pertence às áreas de ciências sociais aplicadas, enquanto os 74% restantes compõem o grupo de engenharias voltadas ao desenvolvimento energético.

Foram definidas três categorias de análise para o eixo bibliométrico: i. o número de autores de cada artigo; ii. a quantidade de publicações por região; iii. a existência ou não do financiamento de alguma agência de fomento brasileira e/ou estrangeira. Os resultados obtidos na primeira categoria provaram uma saliência de estudos publicados por três ou mais autores, totalizando 68% das publicações mapeadas na base de dados da SciELO CI, sendo seis o número máximo de autores em um único estudo.

Figura 1 – Mapa de periódicos e número de publicações, por estado do Brasil



Fonte: Elaboração própria

No que tange às regiões de publicação, evidenciou-se a preponderância das regiões Sudeste (57% dos artigos) e Sul (21% dos artigos) como locus de produção científica sobre a transição energética envolvendo fontes alternativas estudadas, como ilustra a Figura 1. Apesar

de alguns estudos tratarem da geração de energia nas regiões Norte e Nordeste – especialmente a energia eólica no caso da última, vale mencionar, foi uma das fontes mais recorrentes na amostra – não houve incidência de periódicos localizados, na amostra analisada, nas regiões citadas¹¹. Dos estados brasileiros, São Paulo foi o maior concentrador de revistas de publicações no Brasil. Ademais, dois artigos foram publicados na região Centro-Oeste; e oito por revistas estrangeiras da América Latina, notadamente das coleções da SciELO do Chile, Argentina, Peru, Colômbia e Equador.

Quanto à categoria de financiamento, conforme a Tabela 1, cerca de 43% dos artigos reportou o recebimento de algum tipo de bolsa de incentivo ou apoio financeiro, sendo que 75% dos estudos financiados pertencem às áreas relacionadas à engenharia, o que, em parte, foi um resultado esperado, dadas as proporções da amostra. No entanto, em termos relativos, mesmo a área de ciências sociais representando um percentual bem menor na amostra (12 artigos contra 35 de engenharias), a razão entre os artigos que reportaram financiamento em relação ao total de cada área não destoou acentuadamente, com um 43% dos artigos das áreas de engenharia sendo financiados (15/35), enquanto nos artigos de áreas de ciências sociais aplicadas esse número chegou a 42% (5/12).

Tabela 1 – Artigos por grande área e financiamento

Grande Área	Número de Artigos	Reportou Financiamento
Ciências Sociais	12 (26%)	5 (11%)
Engenharias	35 (74%)	15 (32%)
Total	47 (100%)	20 (43%)

Fonte: elaboração própria.

Em todos os casos que reportaram financiamento, notou-se que ao menos uma das agências foi de caráter público e brasileiro, com a maioria das bolsas concedidas por instituições de fomento à pesquisa básica como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e/ou por fundações regionais de amparo à pesquisa, como a FAPESP e a FAPEMIG. Nesse cenário, o ator de

¹¹ Salienta-se que isso não significa que não haja publicações em outras regiões sobre o tema, mas que, dentro dos critérios específicos da busca, apresentados na seção metodológica, não houve artigos selecionados.

maior participação no financiamento de pesquisas em energias alternativas no Brasil foi o Estado.

Apesar de não terem sido registradas publicações nas regiões Norte e Nordeste do país, como exposto anteriormente, alguns artigos contaram com a autoria de pesquisadores filiados a instituições de ensino superior nos seguintes estados dessas regiões: Pernambuco (UFPE, UFRPE, IFPE), Bahia (UFBA), Alagoas (UFAL), Ceará (UFC), Rio Grande do Norte (UFRN) e Amazonas (INPA, UFAM), como é possível observar no Quadro 3.

Destaca-se que no mapeamento institucional dos autores foram identificadas autorias advindas do setor privado (como Casa dos Ventos Renováveis S.A. e TideWise Ltda.) e da indústria ou associações industriais (Petrobras S.A. e ABEEólica). Institutos públicos especializados (como o Inmetro e o INPE) também compuseram a lista. Tais conexões interinstitucionais, para além de coautorias entre IES, contribuem para a visualização da produção científica no setor como um espaço para o desenho de agendas convergentes (e possivelmente complementares) entre os mais diversos atores que impactam o setor, isto é, um desenho condizente com a perspectiva de interdependência entre as hélices de produção de conhecimento (Leydesdorff, 1997).

Adicionalmente, outro aspecto interessante se encontra na presença de várias subáreas do conhecimento (por vezes na organização de um mesmo artigo) entre os centros de pesquisa mapeados, tornando tangível o caráter transdisciplinar da produção e da difusão do conhecimento científico (Gibbons *et al.*, 1994) no setor energético.

Quadro 3 – Filiação institucional dos autores dos artigos, por ano

ID ¹²	Ano de publicação	Departamento/filiação institucional dos autores da amostra
13	2004	• Divisão de Clima e Meio Ambiente, Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
28	2004	• Laboratório de Semicondutores, Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos (DF/UFSCar)
22	2005	• Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) • Grupo de Ergonomia e Novas Tecnologias (GENTE/COPPE/UFRJ) • Departamento de Engenharia de Produção (POLI/UFRJ)

¹² O número de identificação (ID) de cada artigo da tabela é correspondente ao ID da base de dados.

34	2005	• Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas (FEC/UNICAMP)
36	2006	• Departamento de Física, Universidade Federal de Alagoas (DF/UFAL) • Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
1	2008	• Programa de Pós-graduação em Relações Internacionais “San Tiago Dantas” (Unesp/Unicamp/PUC-SP) • Departamento de Educação, Ciências Sociais e Política Internacional da Universidade Estadual de São Paulo (Unesp)
9	2008	• Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)
10	2008	• Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
27	2008	• Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (PPGE/USP)
37	2009	• Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco (DEMEC/UFPE)
18	2010	• Departamento de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
17	2011	• Grupo para el Diagnóstico Avanzado de Maquinaria, Universidad de Pinar del Río, Cuba • Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad de Pinar del Río, Cuba • Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) • Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade de Santa Catarina (LVA/UFSC) • CARTIF, Universidad de Valladolid, Espanha
23	2011	• Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
24	2011	• Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Federal do Ceará (UFC)
3	2013	• Sociedade Internacional de Ecologia Industrial (ISIE)
16	2013	• Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica)
25	2013	• Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PGETEMA/(PUC-RS) • Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS)

30	2013	• Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) • Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
31	2013	• Programa de graduação em Relações Internacionais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) • Instituto de Relações Internacionais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (IRI/PUC-Rio)
2	2014	• Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) • Escola de Química da Universidade Federal do rio de Janeiro
35	2014	• Universidade Federal do Ceará (UFC)
14	2016	• Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) • Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
7	2017	• Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas e Curso de Medicina Veterinária, Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR/ICETI)
11	2017	• Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) • Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Estadual do Rio de Janeiro (IME/UERJ) • Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
6	2018	• Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) • Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) • Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)
40	2018	• Laboratório de Otimização de Sistemas Energéticos (LOSE)/Instituto de Pesquisa em Bioenergia (IPBEN/Unesp) • Departamento de Ciências Básicas e Ambientais, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (USP)
46	2018	• Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal Fluminense (PPGEM/UFF) • Indústrias Nucleares do Brasil (INB) • Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA)
33	2019	• Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC (CECS/UFABC)
38	2019	• Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

39	2019	• Universidade Federal Fluminense (UFF)
42	2019	• Centro Universitário Facens, Sorocaba/SP • Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (Unesp)
44	2019	• Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA) • Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC)
45	2019	• Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) • Universidade de La Habana, Cuba
8	2020	• Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza (Unifor) • Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE)
19	2020	• Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
21	2020	• Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) • Universidade Anhanguera-Uniderp
26	2020	• Universidade UniCesumar • Universidade Estadual de Maringá (UEM) • Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), • Universidade UniCesumar • Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI) / Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade UniCesumar
29	2020	• Universidade de Brasília (UnB)
12	2021	• Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca • Petróleo Brasileiro S.A. • Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
15	2021	• Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) • TideWise Ltda. • Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IVIG/COPPE/UFRJ)
20	2021	• Departamento de Ciências Sociais (UFRPE) • Departamento de Ciências Sociais (UFRPE)
41	2021	• Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) • Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais • Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG)
4	2022	• Núcleo de Avaliação da Conjuntura, Escola de Guerra Naval

		Programa de Pós-graduação em Estudos Marítimos (PPGEM/EGN) / Grupo de Estudos Marinhos (GEM)
5	2022	- Universidade Federal de Santa Maria (USM) / Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) - Universidade Federal de Santa Maria (USM)
32	2022	- Institute for Manufacturing Technologies of Ceramic Components and Composites Stuttgart, University of Stuttgart (Alemanha) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and Solid Waste Management Stuttgart, University of Stuttgart (Alemanha) - Water and Environmental Engineering Rosenheim, Rosenheim Technical University of Applied Sciences (Alemanha) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
43	2022	- Casa dos Ventos Renováveis S.A. - Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Universidade de São Paulo (USP)
47	2022	Universidade de Fortaleza (UFC)

Fonte: elaboração própria.

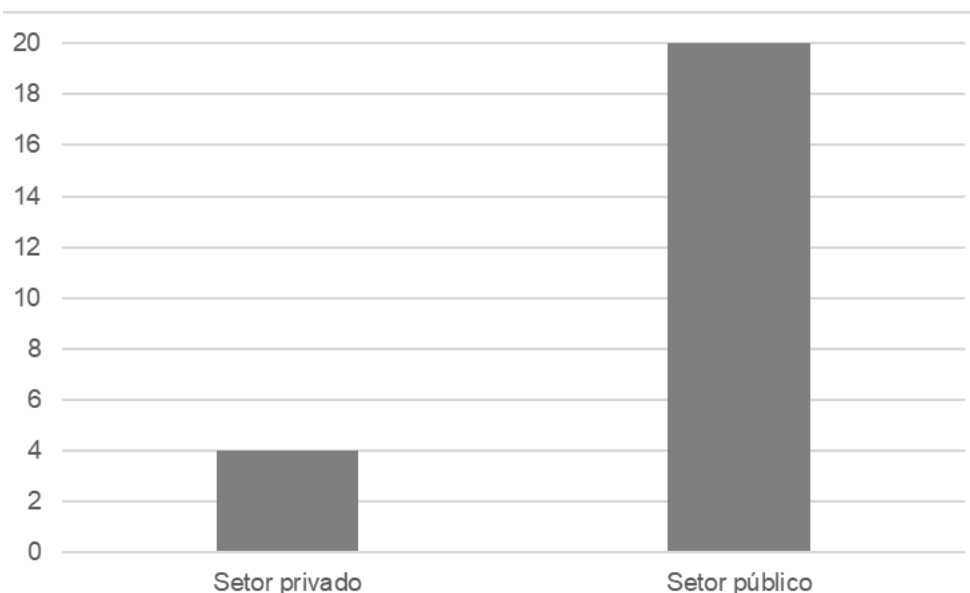
Ademais, identificou-se envolvimento¹³ de atores públicos e privados em 20 artigos, (isto é, os mesmos artigos que mencionaram recebimento de apoio financeiro), com algumas menções à apoio institucional e técnico. O ator de maior presença foi o Estado, conforme exposto na Figura 2, com uma participação quatro vezes maior que o setor privado. Nesse sentido, apesar de a amostra analisada não ser necessariamente representativa da produção acadêmica no setor como um todo, fazem-se válidas algumas considerações sobre a co-participação, especialmente desses dois atores, em pesquisas básicas.

Apesar de complexo, especialmente considerando problemas de conflitos de interesse, vieses e visão de longo prazo, o desenvolvimento de possíveis soluções para o problema da transição energética necessariamente passa pela dimensão da inovação e, por isso, a aproximação entre o setor privado e a academia é vista como altamente estratégica pela literatura teórica da inovação. Nesse sentido, conforme comentado anteriormente, o engajamento do setor privado na fase de pesquisa básica se mostra uma tarefa difícil, mas

¹³ Para a presente RSL foi considerado como envolvimento a disponibilização de recursos (financeiros e humanos) e/ou a concessão de dados, encarando o auxílio dessa natureza como uma contribuição para a viabilização da pesquisa, conforme descrito no Anexo II.

necessária, visando uma distribuição de custos mais ponderada, visto que os benefícios e oportunidades a partir de inovações possuem um caráter difuso e coletivo (Lundvall, 2010).

Figura 2 – Envolvimento de atores públicos e privados nas publicações



Fonte: Elaboração própria.

No tocante ao fomento da inovação mediante a participação do setor privado, dentre as iniciativas do Brasil no setor de energia elétrica especificamente, destaca-se o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D Aneel), criado pela Lei ° 9.991, de 24 de julho de 2000. Considerada uma das principais métricas para mensurar e garantir o comprometimento de empresas do setor com o desenvolvimento de inovações, tal instrumento normativo estabelece que

As concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final (BRASIL, 2000).

Dada a importância da iniciativa, uma das categorias de análise desta RSL buscou investigar se houve o envolvimento de projetos de P&D da Aneel (BRASIL, 2000) nos artigos mapeados, porém, na amostra analisada não foram encontradas evidências com referência explícita ao programa em nenhum artigo da amostra selecionada. Artigos financiados por projetos dessa natureza foram identificados, entretanto, como resultado em buscas avulsas na base da *Web of Science* (WoS) (Coleção Principal), mediante uso dos mesmos descritores.

Uma hipótese dessa configuração é que a produção acadêmica brasileira mais robusta no setor, que tenha financiamento do Programa de P&D da Aneel, é publicada em revistas de maior impacto, indexadas em bases como WoS e Scopus e não em veículos de divulgação acadêmica latinoamericanos ou brasileiros, como é o caso de revistas indexadas na SciELO CI. Nesse sentido, fazem-se válidas outras buscas em bases de dados mais abrangentes, para complementação da figura de produção científica sobre energias alternativas no Brasil.

Ademais, três artigos reportaram o financiamento de instituições estrangeiras em parcerias com agências brasileiras, sendo um dos artigos¹⁴ fruto de um programa direcionado ao combate às mudanças climáticas mediante parcerias com o setor privado (Programa “*Climate partnerships with the private sector*”), com o Instituto Alemão de Financiamento e Desenvolvimento DEG (*Deutsche Investitions und Entwicklungsgesellschaft mbH*). Nesse caso, a cooperação acadêmica internacional se deu entre a UFRN e duas universidades alemãs, a *University of Stuttgart* e a *Rosenheim Technical University of Applied Sciences*.

Já do ponto de vista substantivo, há nuances que merecem ser exploradas entre os períodos pré e pós Acordo de Paris, sendo válida uma análise correlacional sob a ótica da inovação. Nesse sentido, as próximas seções apresentam como essa produção, enquanto representação de parte das discussões nas universidades e sob a perspectiva de um repositório latinoamericano, está inserida no contexto de desenvolvimentos na indústria e nas agendas governamentais brasileiras ao longo dos anos, bem como avaliam possíveis sugestões dessa literatura a respeito da temática da inovação no campo das energias alternativas no Brasil.

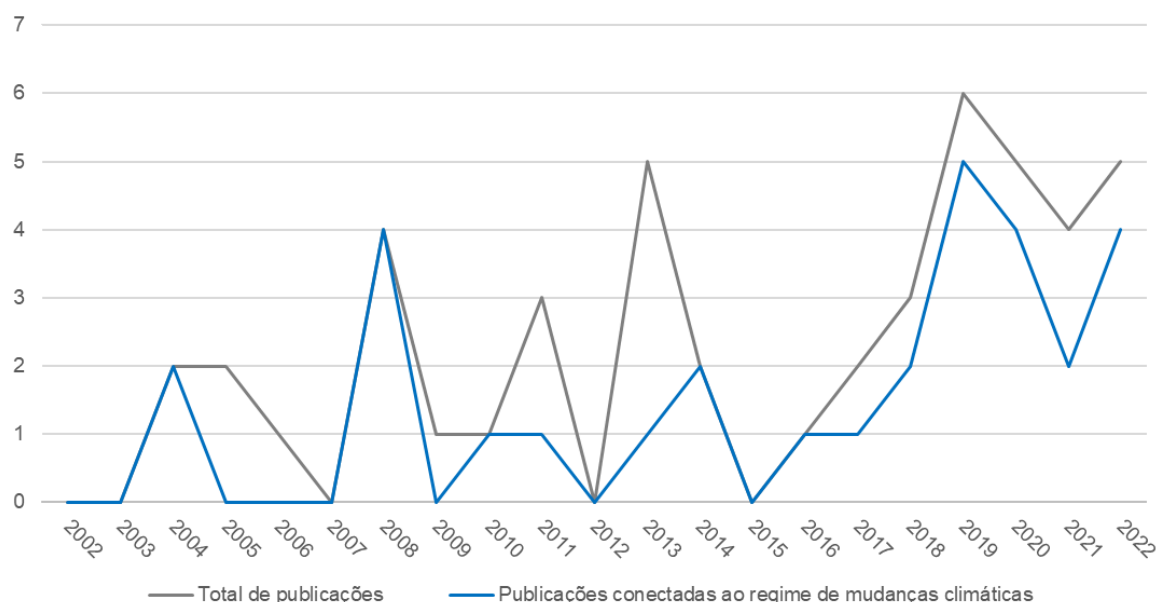
5.2 PRÉ-ACORDO DE PARIS E A EXPANSÃO DAS FONTES ALTERNATIVAS NO BRASIL (2004-2014)

Do total de publicações durante todos os anos da amostra, 64% fez menção à menção à temática das mudanças climáticas como problematização para as discussões. A abordagem da inovação, por outro lado, se mostrou escassa, com pouco mais de 23% da amostra (11 artigos) tratando da temática, conforme descrito na Tabela 3. Das áreas de pesquisas, cabe salientar que a discussão sobre inovação foi relativamente pouco problematizada nos artigos relacionados às áreas de engenharia (que contabilizaram 27%) em comparação com a área de ciências sociais aplicadas (a qual correspondeu 73% dos artigos que abordaram a discussão).

¹⁴ *Performance evaluation of a solar-powered wastewater treatment plant (two-stage SBR) operated in tropical climate regions* (Dufner et al., 2022).

Considerando o Acordo de Paris (2015) como um marco na agenda climática, é válido mencionar que a produção acadêmica brasileira não sofreu grandes alterações entre os períodos pré e pós-Acordo, sendo 21 artigos no primeiro período e 26 no segundo, embora nenhuma publicação analisada tenha sido publicada no ano de seu estabelecimento, como ilustra a Figura 3. No entanto, relacionando essas publicações aos anos em análise (nove anos com publicações no período pré-Acordo de Paris e sete no período posterior), percebe-se que o número de artigos que discutiram as fontes alternativas de geração de energia também cresceu mais no segundo período que no primeiro.

Figura 3 – Número de publicações que fazem menção ao regime de mudanças climáticas, em comparação ao total de publicações



Fonte: Elaboração própria.

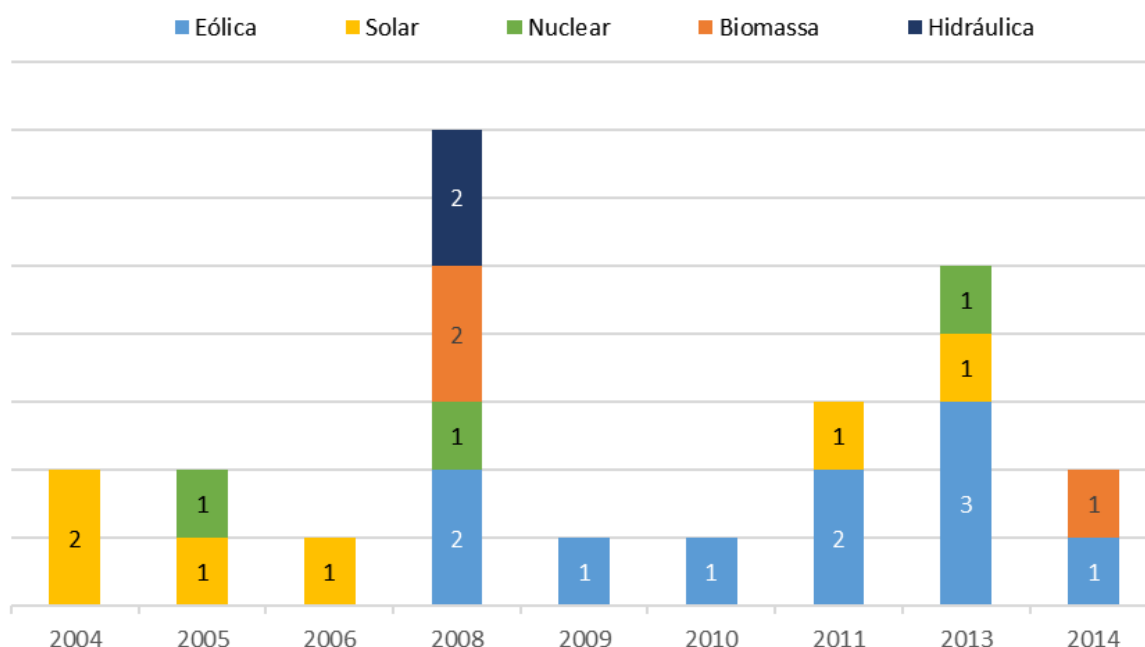
As menções dos artigos ao regime internacional de mudanças climáticas apresentaram, no geral, um crescimento diretamente proporcional ao curso temporal. Durante o período pré-2015, no entanto, esse aumento não foi constante. Ainda em 2004, ano de início de publicações na amostra após a filtragem dos resultados, os dois artigos publicados (ambos da área de engenharias, fizeram menção ao regime, sendo uma delas à Conferência de Kyoto (Martins; Pereira; Echer, 2004).

Após um período sem publicações com menções às mudanças climáticas, de 2005 a 2007, foram publicados quatro artigos em 2008, dos quais os quatro fazem alguma menção às dimensões do desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas e impactos ambientais, embora apenas um trabalhe com uma análise mais detalhada do marco na agenda de

mudanças climáticas naquele período: o estabelecimento do primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto, que perdurou até 2012 (Moreira; Giometti, 2008). Nos anos de 2009, 2012 e 2015 (o último sendo o ano de estabelecimento do Acordo de Paris), por outro lado, não foram identificados estudos que se conectaram com a agenda de mudanças climáticas, embora nos casos de 2012 e 2015 esse não resultado tenha se dado pela própria ausência de artigos selecionados para a amostra. Já em 2013, mais um estudo mencionou o Protocolo de Kyoto, fazendo menção também à UNFCCC (Simas; Pacca, 2013).

No tocante às fontes trabalhadas, os estudos desse período refletiram, em parte, a incipiência que a indústria alternativa experimentava no início do século XXI, assumindo um caráter mais descritivo sobre etapas e processos envolvidos na geração de energia elétrica a partir dessas fontes. Nesse sentido, as que mais se destacaram na amostra completa foram a eólica e solar, que juntas correspondem a 64% dos artigos. O período anterior a 2015 foi marcado pela preponderância da primeira fonte, como é possível observar na Figura 4¹⁵, a qual permite a construção de uma correlação com o padrão de evolução da indústria no país, que experimentou uma franca expansão até meados de 2013 (Alves *et al.*, 2019).

Figura 4 – Fontes mencionadas no período pré-Acordo de Paris, por ano¹⁶



Fonte: Elaboração própria.

¹⁵ Vale ressaltar que o enquadramento da presente pesquisa se limitou às fontes alternativas de geração de energia elétrica, não considerando estudos focados em energia térmica e/ou combustíveis fósseis, por exemplo.

¹⁶ O somatório do gráfico não corresponde ao número de artigos, pois houve artigos que abordaram mais de uma fonte.

Um dos maiores incentivadores para a expansão da fonte eólica e de outras fontes alternativas – notadamente a biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas (PCH) – foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), fundo setorial criado pela Lei nº 10.438/2002, sob o objetivo de subsidiar fontes de energia alternativas à hidráulica, após o contexto de crise hídrica (Abreu *et al.*, 2014). Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e implementado pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), o Proinfa contribuiu significativamente para uma diversificação maior da matriz elétrica nacional – no início do programa, 83% da matriz correspondia à geração hidrelétrica e, 20 anos depois, a mesma fonte se tornou responsável por 63% da geração nacional (EPE, 2022), conforme observa-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Participação das fontes alternativas na Matriz Elétrica Brasileira

Fonte	Participação em 2002	Participação em 2022
Hidrelétrica	83%	63%
Eólica	0%	12%
Solar	0%	4%
Nuclear	4%	2%
Biomassa	3%	8%

Fonte: elaboração própria com base no Balanço Energético Nacional (BEN) Interativo (EPE, 2022).

Considerado um programa político-estratégico de longo prazo, os empreendimentos do Proinfa foram iniciados apenas em 2005, e o prazo para início da geração (operação dos empreendimentos) passou por algumas extensões, como a Lei nº 11.943/2009 e a Lei nº 12.431/2011, que prorrogaram o início de operação das usinas para dezembro de 2010 e dezembro de 2011, respectivamente. Nesse sentido, a partir de 2011, a fonte eólica passou a compor efetivamente parte do percentual de geração nacional, correspondendo atualmente a 12% do total (EPE, 2022).

Em paralelo com a produção científica, a partir de 2011, notou-se também um maior número de publicações sobre energia eólica na amostra. Dessas publicações, metade (as três últimas do período pré-2015, todas pertencentes à área de ciências sociais) atribuíram o crescimento da participação da fonte à realização de leilões para contratação de energia alternativa, como uma forma de conectar o mercado nacional à indústria em fase de expansão

(Melo, 2013; Simas; Pacca, 2013; Abreu *et al.*, 2014). O primeiro leilão de contratação exclusiva da energia eólica ocorreu em 2009, sob o certame do Leilão de Compra de Energia de Reserva, que havia sido realizado pela primeira vez no ano anterior com o objetivo de mitigar o risco hidrológico por meio da incorporação da bioeletricidade na matriz elétrica. Vale ressaltar, no entanto, que o primeiro Leilão de Compra de Energia Proveniente de Fontes Alternativas ocorreu ainda em 2007, embora não incluísse a fonte eólica (EPE, 2009).

O lado substantivo da produção acadêmica desse período é, basicamente, focado em dimensões relativas à expansão e consolidação das energias alternativas no Brasil. Nesse contexto, Melo (2013) elencou alguns aspectos que podem ser entendidos como falhos no SNI brasileiro no processo de expansão da indústria eólica, os quais caracterizou de “custo Brasil” (Melo, 2013, p. 135), no que diz respeito ao longo prazo da indústria. A autora apontou os custos de produção decorrentes da importação de insumos para geração de energia, além da condição brasileira de uma infraestrutura deficiente associada ao custo de transporte, escassez de mão de obra e falta de concorrência na cadeia de fornecedores de componentes elétricos (Melo, 2013).

Por outro lado, em relação aos marcos políticos do período, a expansão da fonte pode ter sido influenciada pelo estabelecimento de políticas públicas nacionais na agenda de mudanças climáticas paralelas ao setor energético, com o lançamento do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), conforme mencionado por um dos estudos da RSL (Abreu *et al.*, 2014). Instituída pela Lei Federal nº 12.187 de dezembro de 2009, a PNMC fez no documento do seu decreto, publicado em dezembro de 2008, menção à possibilidade de um leilão exclusivo para a energia eólica no primeiro semestre do ano seguinte (Brasil, 2008a).

Outro fator elencado por alguns artigos do período pré-2015 diz respeito à atuação dos bancos públicos de financiamento como tomadores de risco e investidores importantes, que tiveram um papel fundamental no setor de energias alternativas no país, especialmente o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (Francisco *et al.*, 2019; Simas; Pacca, 2013; Melo, 2013; Abreu *et al.*, 2014). Entretanto, destaca-se a participação de outros bancos de caráter regional – como o Banco da Amazônia (BASA) e o Banco do Nordeste (BNB), conforme citado pelo documento “Contribuição do Brasil para evitar a mudança do clima”, publicado em 2008, em parceria entre os Ministérios do Meio Ambiente; de Minas e Energia; do Desenvolvimento, Indústria; e de Comércio Exterior (Brasil, 2008b). Nesse sentido, ao estruturar um paralelo com a teoria dos SRIs, ressalta-se as vantagens, em termos de uma gestão mais descentralizada, do engajamento de atores regionais em políticas sistêmicas, coordenadas por um arcabouço ampliado de diretrizes nacionais (Cooke, 2001).

Ainda no contexto de dinâmicas regionais, em 2008 foi publicado o primeiro artigo da amostra sobre biomassa, tratando do potencial de utilização de palmas em comunidades ribeirinhas na Amazônia. Embora não faça menção às iniciativas do governo brasileiro de fomento às fontes alternativas e combate às mudanças climáticas citadas anteriormente, Miranda *et al.* (2008) fazem menção ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Luz para Todos), criado em novembro de 2003, mediante o Decreto no 4.873, no contexto da Amazônia brasileira. Em 2020, 12 anos mais tarde, criou-se uma política pública de larga escala exclusiva para a região, o Programa Mais Luz para a Amazônia (MLA) (MME, 2023).

Nesse panorama, para além da fonte eólica, o início do século XXI foi marcado pela maior utilização da biomassa como fonte energética para geração de eletricidade no Brasil. Embora a fonte venha sendo utilizada na matriz energética brasileira desde a década de 1970, no contexto das Crises do Petróleo e o estabelecimento do Pró-Álcool, seu uso para eletricidade passou a crescer a partir de 2002, quando a fonte atingiu uma participação de 3% na matriz nacional (EPE, 2022). Um dos fatores que contribuiu para tal pode ser identificado no âmbito do mercado regulado de carbono, como os projetos registrados no Mecanismo do Desenvolvimento Limpo (MDL)¹⁷.

Moreira e Giometti (2008) apontaram o potencial do Brasil à época, enquanto um país em desenvolvimento, no tocante à transferência de tecnologia de países do Anexo I do Protocolo de Kyoto. O país se tornou referência em projetos de geração de eletricidade a partir da valorização do biogás de aterro (Moreira; Giometti, 2008), tecnologia que, assim como a *waste to energy* (na qual ocorre a incineração dos resíduos sólidos urbanos (RSU) para geração de energia) simboliza uma oportunidade de integração da gestão pública urbana com o planejamento energético – estratégia adotada por cidades inteligentes em vistas de fomentar uma economia mais circular (GIZ, 2017).

O biodiesel, introduzido na matriz energética brasileira pela Lei nº. 11.097 de 2005, foi outro biocombustível, para além do biogás, trabalhado pela literatura analisada. Ao analisarem as dimensões estruturais e tecnológicas da cadeia de oferta de biodiesel no Brasil, Santos, Borschiver e Souza (2014) indicaram a presença de assimetrias de informações nessa cadeia e a necessidade de uma estrutura institucional que estimule a colaboração entre os agentes, amplie a comunicação entre os operadores da cadeia e reduza o isolamento regional,

¹⁷ Salienta-se que o estabelecimento do MDL, sob o resguardo do protocolo de Kyoto, representou uma inovação à época, na medida em que permitiu à países em desenvolvimento o financiamento de projetos em energias renováveis e a transferência de tecnologia de países desenvolvidos (Moreira; Giometti, 2008).

argumentando que a integração vertical no processamento da matéria prima e a rota tecnológica adotada seriam cruciais na redução de custos.

A literatura mapeada também analisou a fonte solar fotovoltaica para geração de energia, sob uma modelagem que pode indicar uma tentativa de disseminação maior da fonte, não atendida pelo Proinfa e incorporada tardiamente no Sistema Interligado Nacional (apenas em 2012, com crescimento a partir de 2017), em relação às outras fontes alternativas. Dessa forma, os estudos estiveram mais ligados à uma abordagem educacional, o que por um lado pode contribuir para a divulgação e socialização do conhecimento científico, visionadas como parte das economias do conhecimento (Mazzucato, 2021). Assim, aspectos como a incidência de radiação e disponibilidade da fonte (Martins; Pereira; Echer, 2004; Fiorin *et al.*, 2011) bem como artigos sobre a composição e lógica básica de funcionamento de células fotovoltaicas caseiras (Silva *et al.*, 2004; Agnaldo *et al.*, 2006) foram estudados nos artigos.

Nesse sentido, mesmo sem um aporte nacional institucional tão sólido quanto as outras fontes renováveis, é possível correlacionar, conforme retrata Martins, Pereira e Echer (2004), o maior interesse sobre o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil aos próprios esforços internacionais de apoio à fonte. O *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), criado em 2001, derivou de uma iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e passou a abarcar a radiação solar como um dos recursos analisados, visto que antes a mesma não havia sido incorporada ao *Global Resource Information Database* (GRID) (Martins; Pereira; Echer, 2004).

Embora não tenha havido publicações na amostra selecionada para o ano de 2012, destaca-se que, desde abril desse ano, vigorou a Resolução Normativa Aneel nº 482/2012 (REN 482/2012) sobre micro e minigeração distribuída. O consumidor brasileiro passou, então, a poder gerar sua própria energia elétrica, a partir de fontes renováveis e cogeração, com a possibilidade de exportação do excedente para a rede de distribuição de sua localidade, possibilidade de compensação através da injeção na rede, contribuindo assim para a descarbonização do Sistema Interligado Nacional (SIN) (ANEEL, 2022).

O próprio PNMC (2008) já havia mencionado a possibilidade de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, visando disseminar a utilização da energia solar fotovoltaica como uma das oportunidades de exploração à indústria nacional do silício, um dos componentes dos módulos fotovoltaicos. No âmbito desse material, um¹⁸ dos 47 artigos

¹⁸ Zanesco, Izete; Moehlecke, Adriano; Pereira, Marcia da Silva. Solar cell production method with silicon wafer quality optimisation during aluminium diffusion. Ubea; Companhia Estadual de Geracao e Transmissão de Energia Elétrica CEEE; Eletrosul Centrais Eletricas S. A. N°: H01L21/225; H01L31/18. Disponível em:

analisados contou com patente registrada no repositório de patentes da Scopus¹⁹. O mesmo tratou da otimização da qualidade do biscoito de silício na metalurgia, para o desenvolvimento otimizado de células solares (Marcolino; Moehlecke; Zanesco, 2013), com o financiamento de instituições públicas de fomento à pesquisa, associadas ao apoio de grandes empresas no setor energético, como Eletrosul e Petrobras.

Embora, no ano de produção do artigo, nenhuma das empresas mencionadas acima fosse considerada privada – a primeira ainda não havia sido privatizada e a última é melhor caracterizada como uma sociedade de economia mista –, a parceria representou um espaço importante de colaboração entre as dimensões universidade-indústria, duas hélices fundamentais no processo de produção de conhecimento para inovação. A partir dessa meta-perspectiva, torna-se possível compreender os processos de produção e difusão de conhecimento na academia como uma subdinâmica específica (a produção de conhecimento em si) mas, ao mesmo tempo, como um subsistema discursivamente interligado com outros subsistemas da sociedade (a difusão tecnológica no mercado) (Leydesdorff, 1997). Vale mencionar que a literatura sugeriu como uma lacuna brasileira a baixa participação do setor privado no desenho de políticas públicas para o setor (Abreu et al., 2014).

A instabilidade dessa interconexão foi abordada também como uma lacuna por Dawood e Herz (2013), no tocante à baixa utilização da energia nuclear no país. Para as autoras, a fragilidade institucional em relação à essa fonte se encontra no arcabouço da governança nuclear na América Latina, historicamente falha. No caso do México, por exemplo, (embora sejam considerações válidas para a maior parte da América Latina), mesmo com planos de aumentar a capacidade de produção no país, suas condições estruturais recaem sobre a ambiguidade, entre as projeções de crescimento de demanda e a capacidade da fonte nuclear em atender parte desse aumento. Ademais, a falta de agilidade na instalação e operação de plantas, bem como falhas de capacitação poderiam ser entendidas como um desvio à consolidação da fonte no país (Carvalho, 2008; Dawood; Herz, 2013).

Algumas dessas lacunas apontadas no período anterior ao Acordo de Paris permaneceram válidas no período após 2015 e na literatura mais recente. Entretanto, outras foram incorporadas à discussão, cristalizando na produção acadêmica uma problematização maior do regime de mudanças climáticas, conforme apresentados na subseção a seguir.

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=WO&NR=2014032144&KC=&FT=E&locale=en_EP. Acesso em: 01 ago 2023.

¹⁹ Em parte, a escassez de patentes vinculadas aos estudos pode estar relacionada à seleção da amostra, uma vez que se encontra composta por uma miscelânea de artigos não apenas da área das engenharias e sendo a área de ciências sociais dificilmente ativa no patenteamento de novas tecnologias.

5.3 PÓS-ACORDO DE PARIS E A COMPLEXIFICAÇÃO DA AGENDA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2016-2022)

A partir de 2015, a produção científica analisada manteve o ritmo de crescimento, com menos oscilações que o período anterior, sendo que o número de artigos que fizeram algum tipo de menção ao regime de mudanças climáticas no período pós-Acordo de Paris praticamente duplicou em comparação aos anos anteriores a 2015 (de 11 para 19 artigos). Para além disso, embora em 2015 não tenham sido identificadas publicações nos parâmetros da presente pesquisa, a partir de 2015 em todos os anos com publicações foi feita menção ao regime de mudanças climáticas em ao menos um dos artigos. Dessa forma, ao menos substantivamente, a temática das mudanças climáticas parece ter conseguido uma aderência maior na academia, nos anos posteriores ao Acordo de Paris, com dois estudos publicados que citam explicitamente o Acordo (Moreira Júnior; Souza, 2020; Storti; Martinelli Júnior, 2022), conforme expõe a Tabela 3.

Tabela 3 – Número de artigos que fez referência ao regime de mudanças climáticas e à temática da inovação, durante todo o período analisado

Referências feitas nos artigos	Ciências sociais		Engenharias		Total	
	(n=12)	%	(n=35)	%	(n=47)	%
Conferência de 1992 e/ou UNFCCC	0	0	2	5,7	2	4,3
Protocolo de Kyoto	3	25	2	5,7	5	10,6
Agenda 2030 e/ou ODS	0	0	2	5,7	2	4,3
Acordo de Paris	1	8,3	1	2,9	2	4,3
Outros termos associados ao regime de mudanças climáticas ²⁰	4	33,3	15	42,9	19	40,4
Artigos com referência à dimensão da Inovação	7	58,3	4	11,4	11	23,4

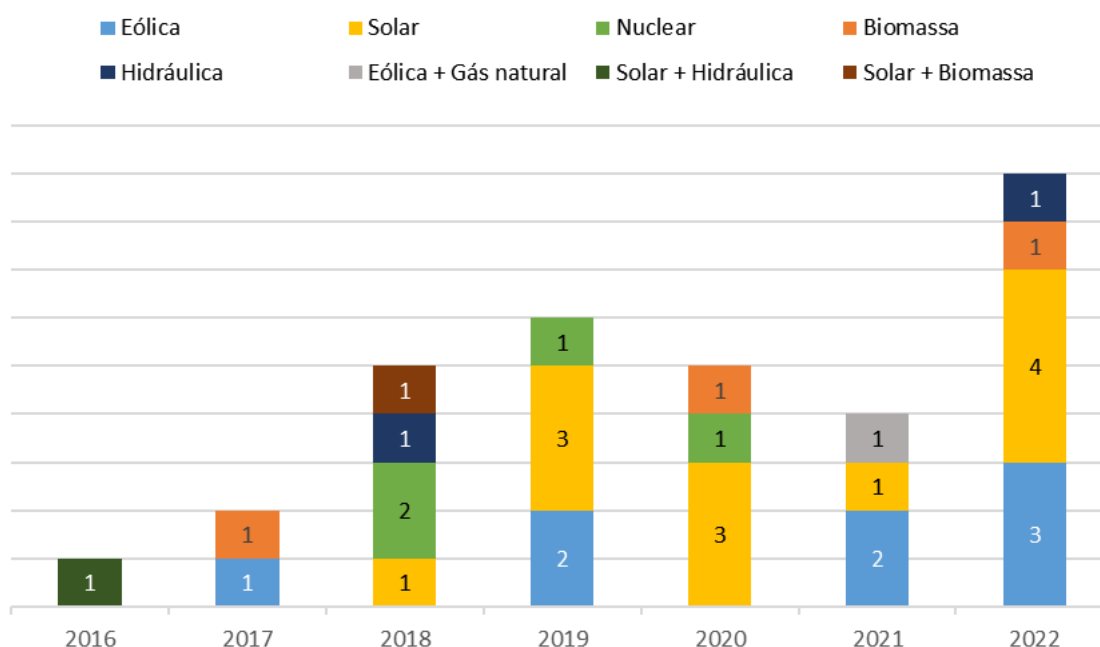
Fonte: elaboração própria.

De modo geral, o período posterior a 2015 foi marcado pela preponderância da fonte solar fotovoltaica nos estudos, abordada como fonte primária na maioria dos artigos, como é

²⁰ Ocorrência de termos mais abrangentes na discussão sobre a agenda, como “mudanças climáticas”, “desenvolvimento sustentável” e “problemas/custos/impactos ambientais”.

possível observar na Figura 5. Nesse sentido, apesar da geração fotovoltaica ter sido integrada à matriz nacional ainda em 2012, a mesma contabilizou um percentual considerável da geração apenas a partir de 2018, chegando aos pouco mais de 4% atuais (EPE, 2022). Embora tais publicações sobre a fonte solar tenham se concentrado nos anos após 2019, desenvolvimentos importantes para essa indústria nos anos anteriores, especialmente nos anos de 2017 e 2018, podem estar relacionados com o *boom* de publicações na amostra, em relação aos anos anteriores.

Figura 5 – Fontes mencionadas no período pós-Acordo de Paris, por ano²¹



Fonte: Elaboração própria.

Entre 2017 e 2018, a maioria dos projetos contratados nos leilões de 2014 e 2015 começaram a entrar em operação, sendo 2018 o ano em que a fonte solar fotovoltaica passou a integrar um percentual não desprezível da geração anual (acima de 1%) (EPE, 2022). Ademais, 2017 também foi o ano do 25º Leilão de Energia Nova (A-4) – geração de energia em usinas que ainda serão construídas –, no qual 20 dos 25 empreendimentos contratados pertenciam ao ramo da geração fotovoltaica (CCEE, 2017). Embora a literatura analisada não tenha trabalhado a maioria dos marcos regulatórios e institucionais aqui citados (com exceção da REN nº 482/2012, resolução mencionada anteriormente), ainda se entende que, a partir de

²¹ O somatório do gráfico não corresponde ao número de artigos, pois houve artigos que abordaram mais de uma fonte.

uma perspectiva de inserção conjuntural desses artigos, a estrutura e instituições vigentes estariam relacionadas com a produção de conhecimento naquele momento (Lundvall, 2010).

No caso do estudo que aborda a REN nº 482/2012, um outro marco regulatório analisado é a Resolução Normativa Aneel nº 687/2015, que atualiza a resolução anterior. Relacionando esse marco com o setor produtivo, notou-se que o crescimento da micro e minigeração distribuída no Brasil, a partir da fonte solar entre 2015 a 2022, passando de 57% para 94% do total gerado nessa categoria (EPE, 2022). No entanto, de acordo com a literatura mapeada, a geração distribuída (GD) – vista como uma inovação *demand-pull* promissora no setor – no geral ainda enfrenta problemas como falta de informações relacionadas à oferta e compensação energética, que dificilmente chegam aos consumidores (Filgueira; Lima; Castelo, 2022).

Filgueira, Lima e Castelo (2022) ressaltam, em adição, a presença de um modelo de marco institucional e regulatório ainda embrionário. Vale destacar que, em 6 de janeiro de 2022, foi instituído o marco legal de microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS) (Brasil, 2022a). Importante mencionar que, apesar de ter sido publicado em 2022, o artigo foi desenvolvido ainda em 2021 e já se endereçava a um tópico debatido no meio externo ao acadêmico.

Em se tratando dessa correlação entre a produção de conhecimento e discussões das agendas políticas na transição energética, faz-se válido destacar que a estratégia dos 4 Ds (Energy Council, 2020) – a qual inclui descarbonização, digitalização, descentralização e democratização da energia – também se apresentou conectada à literatura mapeada, com parte dos estudos buscando explorar o potencial do Brasil mediante a otimização do processo de geração elétrica, a partir da integração de ferramentas tecnológicas (Imai *et al.*, 2020; Birck; Amorim, 2020), e o aprofundamento da dimensão social e democrática nas análises.

Para além de uma aderência maior ao regime de mudanças climáticas, a produção científica pós-2015 manifestou o surgimento de novas demandas na academia. Nesse arcabouço, o período pós-Acordo de Paris e Agenda 2030 apresentou um número de pesquisas com uma complexificação maior em relação ao período anterior, isto é, mesmo com a abordagem de temas semelhantes, alguns estudos buscaram problematizar a temática da transição energética, inserindo discussões sobre aspectos como justiça climática e impactos ambientais anexados à geração de energia limpa, dimensões não observadas no grupo de publicações do período anterior (Gomes *et al.*, 2019; Rocha, 2020; Santana; Silva, 2021). Dessa forma, é possível correlacionar as três publicações citadas acima com os modelos de

hélice quádrupla e quántupla, que incorporam a necessidade de que a produção de conhecimento em um sistema de inovação considere a sociedade civil e o meio ambiente como pontos centrais no debate (Carayannis; Barth; Campbell, 2012).

Santana e Silva (2021) alertaram para a necessidade do redesenho das políticas públicas para que não corroborem com o cenário de injustiça ambiental e protejam os grupos sociais mais vulneráveis. Nesse sentido, os autores constataram que os impactos sociais negativos da produção de energia eólica em Pernambuco recaíram sobre a população rural, especialmente agricultores familiares (Santana; Silva, 2021). No entanto, esse estudo não detalha com maior precisão quais os tipos de desenhos que seriam mais adequados.

Gomes *et al.* (2019), por outro lado, analisaram o impacto ambiental dos aquíferos ao redor do parque eólico do distrito de Amarelas, no Ceará, os quais alcançaram níveis de vulnerabilidade alto ou moderado com a instalação do parque. Nesse quesito, cabe ressaltar aqui que comunidades quilombolas, como um dos grupos sociais mais afetados pela instalação de parques eólicos no Ceará, têm se mobilizado nesse sentido, inclusive em fóruns multilaterais como a COP 26, contribuindo para a difusão do conceito de racismo ambiental (Jucá; Betim, 2021). Entende-se, assim, que os estudos citados espelham um conjunto de discussões cada vez mais complexas, envolvendo o impacto do desenvolvimento tecnológico na sociedade, sendo notória a importância da academia na disseminação de pautas por vezes marginalizadas em agendas políticas (Rocha, 2020).

No tocante à dimensão do setor privado, tem-se no setor energético espaços frutíferos de cooperação entre as três principais vértices de um SNI – estado, setor privado e universidades –, como a participação em leilões e programas como o P&D Aneel. Não obstante, conforme apontado em um dos artigos mapeados, por vezes as políticas energéticas implementadas podem não estar inteiramente alinhadas com os objetivos de profissionais da área (Filgueira, Lima, Castelo, 2022). Nessa seara, vale mencionar que apesar dos eventuais descompassos entre as agendas pública e privada, houve iniciativas que objetivam se endereçar à esses problemas, como a Iniciativa Mercado Minas e Energia (IMME), lançada em 2022 visando discutir políticas públicas e alternativas de melhoria para os marcos legais brasileiros no setor, com agentes do mercado incluindo agências reguladoras, associações e empresas. Nesse sentido, foram discutidos tópicos para além do segmento de geração de energia, como os segmentos de transmissão, distribuição e comercialização, com destaque para os desenvolvimentos futuros sobre o Ambiente de Contratação Livre (ACL), em contraste ao tradicional modelo regulado de leilões (Brasil, 2022b).

No que tange às relações da academia com o setor privado no âmbito da transição energética, faz-se válido destacar que um dos artigos analisados discute oportunidades de novos negócios em geração híbrida, sob o aspecto da complementaridade entre parques eólicos *offshore* e a geração de energia a partir do gás natural. Embora a última não seja uma fonte alternativa de energia – e apesar de os resultados da análise financeira terem apontado para a inviabilidade de um projeto dessa natureza –, a ideia de associação entre as duas fontes energéticas *per se*, sugere um menor impacto ambiental (Benedet; Norões; Andrade, 2021).

A literatura publicada no período pós-Acordo de Paris trouxe, em adição, a dimensão do patenteamento internacional. Barbastefano *et al.* (2021) analisaram o depósito de patentes na categoria de motores eólicos, chegando à conclusão de que o Brasil poderia estar negligenciando brechas de inovação em setores de alto potencial. Como exemplo, ao comparar os rankings de depositantes de patentes e de capacidade acumulada no setor, observaram que o Brasil se encontrou na 8ª posição em capacidade acumulada, embora não tenha aparecido no ranking de depositantes de patentes. Apenas 5 países coincidiram em ambas as listas: China, Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e França, com destaque para os três primeiros (Barbastefano *et al.*, 2021).

Observa-se que, diante de significativas barreiras à entrada, integrar nesse mercado seria possível através de mecanismos de transferência de tecnologia envolvendo investimento externo direto (IED), importação de tecnologias, licenciamento de patentes e parcerias internacionais, como fez a China a partir dos anos 2000. Mesmo assim, a liderança chinesa é mais consolidada no contexto de patentes locais, não possuindo um desempenho tão proeminente no mercado internacional do setor eólico como Alemanha, Dinamarca e Estados Unidos (Barbastefano *et al.*, 2021).

A liderança de poucos competidores no patenteamento do setor de energias renováveis foi verificada, também, por Storti e Martinelli Junior (2022). Baseados na noção de regimes tecnológicos (considerando os sentido restrito e sistêmico), os autores avaliaram as patentes depositadas em energias renováveis de 1992 a 2018, nas quais os Estados Unidos estiveram à frente da maioria das subclasses. Porém, os esforços inovativos mais dinâmicos partiram de economias asiáticas como Japão, Coreia do Sul e China. Ademais, foi evidenciado que os esforços tecnológicos dos países se traduziram em um leque ampliado e não-exclusivo de tecnologias renováveis (Storti; Martinelli Junior, 2022).

No caso das eco-inovações, Montenegro, Britto e Ribeiro (2018) analisaram o desenvolvimentos de patentes ambientais entre os anos de 1990, 2000 e 2010, concluindo que o nível de infraestrutura dos países que as desenvolveram foi razoavelmente constante e

crescente, mesmo quando a utilização de energias alternativas e o nível de emissões de GEE oscilaram, tanto nos países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento. Nos anos 2000, os países de maior inovação foram aqueles que possuíam a configuração de uma boa capacidade científica e de uma infraestrutura e sistema de inovação fortalecido, tais como França, Japão, Alemanha, Coreia do Sul, Suíça, Reino Unido e o próprio Brasil (Montenegro; Britto; Ribeiro, 2018).

Os autores observaram ainda que, diferentemente dos anos 2000, em 2010 o nível de atividade científica para a implementação de atividades ambientalmente inovadoras na maioria dos países analisados foi reduzido, indicando uma possível entrada em um novo paradigma tecnológico. No entanto, um dos resultados mais interessante se deu na constatação de que o nível de desenvolvimento econômico desses países não foi um fator determinante para a criação de inovações ambientais, com países como Brasil, China, and Turquia como exemplos de economias que avançaram nesse quesito (Montenegro; Britto; Ribeiro, 2018).

Vale ressaltar, ainda, que a geração de energia a partir de fontes renováveis implica, como qualquer atividade de uso de recursos ambientais, a exploração de recursos naturais. Nesse sentido, um outro aspecto de complexificação analítica da literatura mapeada pós-Acordo de Paris se revelou no estudo sobre o papel dos minerais críticos para o setor energético, inclusive das chamadas terras raras – elementos versáteis de relativa abundância mas considerável dificuldade de extração (Gaspar Filho; Santos, 2022). Considerando o panorama atual da mineração (geograficamente concentrada) e o mercado de preços altamente volátil, a transição energética gera novos tipos de gargalos para a segurança energética, que tem no desenvolvimento tecnológico, setor intrinsecamente dependente de minerais críticos, uma de suas dimensões mais fundamentais.

Entende-se, nesse sentido, que os minerais críticos são apresentados como mais um fator a ser equacionado no desenvolvimento energético do Brasil. Por outro lado, a cooperação internacional foi levantada como uma oportunidade, visto a essencialidade desses insumos para a indústria e observando que foram os acordos internacionais para a mitigação das mudanças climáticas um dos principais fatores a impulsionar os investimentos em energia renovável (Gaspar Filho; Santos, 2022).

De modo geral, em última instância, todos os artigos analisados se inserem no subsistema de educação, uma vez que o objeto de análise da presente RSL foi a produção de conhecimento no ambiente acadêmico. Entretanto, os estudos diferiram no enquadramento analítico, tanto nas fontes energéticas trabalhadas quanto nas abordagens de atores inseridos no processo de produção de conhecimento, conforme comentado nas seções anteriores.

Quadro 4 – Segmentação da literatura mapeada conforme o modelo da hélice quintupla

Subsistema	Tópicos principais abordados	Sector energético	Referências
Educacional (H1)	Entendimento teórico-conceitual sobre o funcionamento básico da tecnologia	solar fotovoltaica; eólica	(Silva <i>et al.</i> , 2004; Agnaldo <i>et al.</i> , 2006; Martins; Guarnieri; Pereira, 2008; Boquimpani <i>et al.</i> , 2019; Carlesso <i>et al.</i> , 2019)
	Testes de pequena escala e laboratoriais	eólica	(Araújo, 2008; Rocha, P. <i>et al.</i> , 2010)
	Proposta de novas metodologias e melhorias de computacionais	eólica; solar fotovoltaica; nuclear	(Rocha, R. <i>et al.</i> , 2010; Fiorin <i>et al.</i> , 2011; Silva; Donadon, 2013; Aguilar-Vargas <i>et al.</i> , 2017; Meireles; Sakamiti; Castro, 2018; Oliva; Ojeda, 2019; Murari <i>et al.</i> , 2019; Imai <i>et al.</i> , 2020)
	Revisão Sistemática de Literatura	biomassa (biogás)	(Andreazzi <i>et al.</i> , 2017)
Político (H2)	Avaliação de investimentos	nuclear/hidráulica	(Carvalho, 2008)
	Potencial nacional e possibilidade de inserção internacional	eólica, hidráulica e biomassa; solar fotovoltaica	(Moreira; Giometti, 2008; Melo, 2013; Simas; Pacca, 2013; Abreu <i>et al.</i> , 2014; Montenegro; Britto; Ribeiro, 2018; Moreira Júnior; Souza, 2020; Barbastefano <i>et al.</i> , 2021; Storti; Martinelli Júnior, 2022; Gaspar Filho; Santos, 2022)
	Marco institucional e regulatório	biomassa (biodiesel)	(Borschiver; Souza, 2014)
	Utilização de energias alternativas na gestão pública urbana	solar fotovoltaica;	(Paterniani; Silva, 2005; Birck; Amorim, 2020)
	Governança internacional	nuclear	(Dawood; Herz, 2013)
Industrial (H3)	Processos relacionados à operação e manutenção (O&M)	nuclear; eólica; solar fotovoltaica	(Carvalho; Vidal; Carvalho, 2005; Montero, 2011; Costa; Hirashima; Ferreira, 2021; Nardelli; Futai, 2022)
	Desenvolvimento de novos materiais	solar fotovoltaica; biomassa	(Marcolino; Moehlecke; Zanesco, 2013; Miola <i>et al.</i> , 2020)
	Potencial de geração híbrida	solar + hidráulica; solar + biogás; gás natural + eólica	(Mouriño; Assireu; Pimenta, 2016; Micena <i>et al.</i> , 2018; Benedet; Norões; Andrade, 2021)
	Tratamento de efluentes industriais	solar fotovoltaica	(Dufner <i>et al.</i> , 2022)
Social (H4)	Impactos sociais da instalação de plantas para geração de energia limpa	eólica, nuclear	(Rocha, 2020; Santana; Silva, 2021)
	Desenvolvimento sustentável de comunidades locais	biomassa	(Miranda <i>et al.</i> , 2008)
	Perspectiva do consumidor	solar (GD)	(Filgueira; Lima; Castelo, 2022)

Ambiental (H5)	Impactos ambientais associados à geração de energia	eólica	(Gomes <i>et al.</i> , 2019)
	Levantamento sobre a disponibilidade de recursos naturais para a geração de energia	solar fotovoltaica	(Martins; Pereira; Echer, 2004; Francisco <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, dadas as problemáticas expostas até o momento, em termos de discussões qualitativas, a literatura mapeada pode ser organizada segundo o modelo de hélice quártupla de produção de conhecimento, a qual considera cinco hélices ou subsistemas: educacional (H1), política (H2), industrial (H3), social (H4) e ambiental (H5) (Carayannis *et al.*, 2010). O quadro 4 apresenta uma sistematização da literatura mapeada, conforme o modelo da hélice quártupla.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Configurando um desafio complexo, as mudanças climáticas se encontram diretamente relacionadas ao crescimento histórico de emissões de GEEs, que provocam problemas que extrapolam a esfera local, como o aumento da temperatura global. Dentre as modificações mais importantes do regime internacional de mudanças climáticas está a assinatura do Acordo de Paris, em 2015, que representou uma inovação institucional na agenda política internacional (Souza; Corazza, 2017).

A transição energética tornou-se então uma prioridade na agenda internacional do clima, com as fontes alternativas no centro do debate. Nesse sentido, a presente pesquisa objetivou investigar a produção científica no Brasil – economia repleta de constrangimentos em seu SNI, mas com potencial na geração de energias alternativas, identificando a aderência dessa produção às agendas de mudanças climáticas e de inovação. A abordagem utilizada se baseou no olhar teórico da economia evolucionária, a qual admite a essencialidade das inovações no desenvolvimento econômico (LUNDVALL, 2010) e do modelo de hélice quártupla de produção de conhecimento, a qual considera cinco hélices ou subsistemas: educacional, política, industrial, social e ambiental (Carayannis; Barth; Campbell, 2012).

Para alcançar o objetivo, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), da qual resultaram ao final 47 artigos para análise. O local de maior preponderância de publicações foram as regiões Sudeste e Sul, sendo as fontes eólica e solar as mais trabalhadas. Do total de artigos analisados, 63% tratou das mudanças climáticas, sendo que, considerando

os artigos que abordaram a temática entre os períodos pré e pós-Acordo de Paris, a produção científica experimentou, de certa forma, uma guinada substantiva no período pós-2015, no que diz respeito à problematização de temas intrínsecos à transição energética, como justiça climática e o uso de minerais críticos para a indústria.

Menos de um terço dos artigos (23%) abordou a temática da inovação, articulando as dimensões de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) à transição energética. No que tange aos indicadores relativos à inovação, destaca-se o papel do Estado brasileiro como principal fomentador das pesquisas analisadas, da concessão de bolsas e financiamentos ao apoio institucional mencionado por alguns autores nos artigos. A participação do setor privado se manteve consoante à atuação de instituições e agências estatais, apesar de ter sido consideravelmente menor.

Em relação às hipóteses levantadas inicialmente – a) a maior aderência à temática das mudanças climáticas contribuiu para um aumento da produção científica sobre energias alternativas, a partir da ótica da inovação; e b) pesquisas sobre tecnologias de grande impacto emergem em sistemas de inovação, envolvendo atores privados, públicos e academia – através da análise sistemática da literatura foi possível identificar uma maior aderência relativa da produção científica sobre energias alternativas à temática das mudanças climáticas no segundo período analisado. Entretanto, o aumento da produção científica em relação ao primeiro período não foi necessariamente massivo, como antecipado.

Ademais, a amostra não foi composta por, necessariamente, pesquisas sobre tecnologias de grande impacto, especialmente se considerada a ausência do envolvimento de projetos P&D Aneel nos estudos da base de dados SciELO CI. Portanto, não foi possível corroborar a segunda hipótese com base apenas nos estudos analisados. No entanto, vale mencionar que, das oito pesquisas com maior índice de citação (apesar de não ter sido uma das categorias de análise dessa pesquisa), quatro envolveram a participação de agências públicas de fomento à pesquisa e empresas do setor privado ou de parcerias internacionais.

Por fim, entende-se a relevância da realização de outras revisões sistemáticas, dadas as limitações da presente pesquisa. Nesse sentido, a) poderiam ser explorados outros segmentos das áreas de negócio do setor energético, como transmissão, distribuição e comercialização, que fazem parte do P&D Aneel juntamente com a área de geração; e b) tendo em vista o ano de lançamento do programa (em 2000) e c) as lacunas da base SciELO em relação à produção decorrente de projetos do Programa de P&D, convém realizar uma análise bibliométrica e substantiva a partir de outros repositórios. Outros estudos nesse sentido podem auxiliar na análise crítica do sistema de inovação energético no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de *et al.*. Fatores determinantes para o avanço da energia eólica no estado do Ceará frente aos desafios das mudanças climáticas, Porto Alegre: Revista Eletrônica de Administração, v. 20, mai-ago 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/read/a/nLcPjhRGfKmkWY89FyddvpJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 jun 2023.
- AGNALDO, J.S. *et al.* Células solares de TiO₂ sensibilizado por corante. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 1, 2006, p. 77-84.
- AGUILAR-VARGAS, Soraida *et al.* Hybrid methodology for modeling short-term wind power generation using conditional kernel density estimation and singular spectrum analysis. DYNA 84(201), 2017, p. 145-154.
- ALVES, Elia Elisa Cia *et al.*. Como fazer uma revisão sistemática da literatura? Um guia prático em governança marinha. In.: FERNANDES, Ivan Filipe (org.). Desafios Metodológicos das Políticas Públicas Baseadas em Evidências. Boa Vista: Editora IOLE, p. 121-157, 2022.
- ANDREAZZI, Marcia Aparecida *et al.*. Energy management: a synthesis of scientific publications on biodigestion for waste management. v. 12, 2017, p.964-972. Disponível: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/K4S3L87S9hzRztBjRGSvV9C/?lang=en>. Acesso em: 13 jun 2023.
- ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída (2022). Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 18 set 2023.
- ARAÚJO, Alex M. *et al.* Simulación de la Producción de Energía Eléctrica con Aerogeneradores de Pequeño Tamaño. Información Tecnológica, vol. 20, n. 3, 2009, p.37-44.
- BARBASTEFANO, Rafael Garcia *et al.*. Technological patterns in the wind power industry: a study based on patent deposits. Future of Energy-efficient Operations and Production Systems, Prod. 31, 2021 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/yhFBygqrXLww4CZS4dmHCxH/>. Acesso: 13 jun 2023.
- BARCELLOS-PAULA, Luciano; VEGA, Iván De la; GIL-LAFUENTE, Anna María. The Quintuple Helix of Innovation Model and the SDGs: Latin-American Countries' Case and Its Forgotten Effects. Mathematics, v. 9, 41, 2021.
- BASSETTI, Francesco. Success or failure? The Kyoto Protocol's troubled legacy. Foresight, 2022. Disponível em: <https://www.climateforesight.eu/articles/success-or-failure-the-kyoto-protocols-troubled-legacy/#:~:text=Analyzing%20the%20effectiveness%20of%20the,comfortably%20exceeding%20the%205.2%25%20pledge>. Acesso em: 28 mai 2023.
- BENEDET, Gabriela Wechi; NORÕES, Higuel Parga de Paiva; ANDRADE, José Joaquim Dutra de. Potential synergy between natural gas production and offshore wind power generation: a case study in northeast Brazil. DYNA, 88(219), oct-dec, 2021, p. 9-18.

BIRCK, Márcia Bocacio; AMORIM, Claudia Naves David. Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana: estudo de caso contextualizado no Distrito Federal. Porto Alegre: Ambiente Construído, v. 20, n. 3, jul./set. 2020, p. 591-609.

BNDES. Painel NDC - nossa contribuição para as metas de redução de emissões do Brasil (2023). Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/desenvolvimento-sustentavel/resultados/emissoes-evitadas>. Acesso em: 29 mai 2023.

BOQUIMPANI, Carolina Lannes *et al.* Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica. Porto Alegre: Ambiente Construído, v. 19, n. 4, out./dez. 2019, p. 303-316.

BRASIL. [Programa de Eficiência Energética ANEEL, 2000] Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm. Acesso em: 04 fev 2023.

BRASIL. PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – PNMC – BRASIL (2008a). Disponível em: https://meioambiente.ufrn.br/downloads/plano_nacional_mudanca_clima-PNMC.pdf. Acesso em 18 set 2023.

BRASIL. CONTRIBUIÇÃO DO BRASIL PARA EVITAR A MUDANÇA DO CLIMA (2008b). Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/publicacoes_cimgc/Contribuicao-do-Brasil-para-evitar-a-Mudanca-do-Clima.pdf. Acesso em: 18 set 2023.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 (2022). Brasília, DF, 2022a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 19 set 2023

BRASIL. Iniciativa Mercado Minas e Energia propõe ferramentas para alavancar investimentos em mineração e energia, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/iniciativa-mercado-minas-e-energia-propoe-ferramentas-para-alavancar-investimentos-em-mineracao-e-energia>. Acesso em: 03 out 2023.

CARLESSO, Franciele *et al.* Conceitos básicos de radiômetros de substituição elétrica para medidas da Irradiância Solar Total. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 2, 2019, e20180220.

CARAYANNIS, Elias G; BARTH, Thorsten D.; CAMPBELL, David F J. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. Journal of Innovation and Entrepreneurship, 2012, p. 1-12.

CARVALHO, Paulo Victor Rodrigues de; VIDAL, Mario Cezar Rodrigues; CARVALHO, Eduardo Ferro de. Análise de micro incidentes na operação de usinas nucleares: estudo de caso sobre o uso de procedimentos em organizações que lidam com tecnologias perigosas. Gestão e Produção, v.12, n.2, p.219-237, mai.-ago, 2005.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Prioridades para investimentos em usinas elétricas, Estud. av. 22 (64), dez 2008, v.22, p.215-225.

CCEE. Info LEILÃO: Nº 020 – 25º Leilão de Energia Nova (A-4) e 26º Leilão de Energia Nova (A-6) (2017). Disponível em: https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_561832. Acesso em: 19 set 2023.

CEPAL. Authorities and Experts Call for Accelerating the Energy Transition in Latin America and the Caribbean (2023). Disponível em: <https://www.cepal.org/en/pressreleases/authorities-and-experts-call-accelerating-energy-transition-latin-america-and>. Acesso em: 28 mar 2023.

COOKE, P.; URANGA, M. G.; ETXEBARRIA, G. Regional systems of innovation: an evolutionary perspective. *Environment and Planning*, v. 30, 1998, p. 1563-1584.

COOKE, Philip. Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy, *Industrial and Corporate Change*, 2001, 10(4), pp. 945-974.

COSTA, André Luis Crispim; HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira; FERREIRA, Reginaldo Vagner. Operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: inspeção termográfica e limpeza de módulos FV. *Porto Alegre: Ambiente Construído*, v. 21, n. 4, out./dez. 2021, p. 201-220.

DAWOOD, Layla; HERZ, Mônica. Nuclear Governance in Latin America. *Rio de Janeiro: Contexto Internacional*, vol. 35, no 2, julho/dezembro 2013, p. 497-535.

DUFNER *et al.*. Performance evaluation of a solar-powered wastewater treatment plant (two-stage SBR) operated in tropical climate regions. *Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2022, v. 27, p.1123-1132. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/vwNLDTrNcJs9Z3P7bhJHWhN>. Acesso em: 13 jun 2023.

EIA. Renewable energy explained, 2023. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>. Acesso em: 30 jan 2023.

ENERGY Council. Managing Crisis While Preparing for the Future. Disponível em: <https://worldenergy.org/navigating-the-ongoing-crisis>. Acesso em: 06 ago 2023.

EPE. Balanços de Centro de Transformação. In.: EPE. Balanço Energético Interativo (BEN) Interativo (2022). Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>. Acesso em: 18 set 2023.

EPE. Primeiro leilão de energia eólica do país viabiliza a construção de 1.805,7 MW. São Paulo, 2009. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-90/20091214_1.pdf. Acesso em: 18 set 2023.

FARRET, Felix A.; SIMÕES, M. Godoy. Alternative Sources of Energy. In.: FARRET, Felix A.; SIMÕES, M. Godoy. Integration of Alternative Sources of Energy. Estados Unidos: IEEE Press, 2006, p.1-27.

FEITOSA, Lucas; MESQUITA, Rafael. Access, Technology, and Transition: Mapping the Themes of the Debate on Energy at the United Nations General Assembly (2000-2020). *Braz. political sci. rev.* 2023;17(3):e0002. Disponível em: <https://brazilianpoliticalsciencereview.org/article/access-technology-and-transition-mapping-the-themes-of-the-debate-on-energy-at-the-united-nations-general-assembly-2000-2020/>. Acesso em: 07 out 2023.

FILGUEIRA, Álvaro José de Araújo; LIMA, Afonso Carneiro; CASTELO, José Sarto Freire. Adoption Intention of Photovoltaic Solar Systems. *UFSM, Santa Maria: Revista Administração*, v. 15, número 1, 2022, p. 137-157.

FIORIN, Daniel V. *et al.* Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, 1309, 2011.

FMI. GDP, current prices – Billions of U.S. dollars. Disponível em: <https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD>. Acesso em: 28 mai 2023.

FRANCISCO, Ana Carolina Camargo *et al.* Influência de parâmetros meteorológicos na geração de energia em painéis fotovoltaicos: um caso de estudo do Smart Campus Facens, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, 2019, e20190027, p.1-15.

FREEMAN, Christopher. Formal Scientific and Technical Institutions in the National System of Innovation. *In.*: LUNDVALL, Bengt-Åke (org.). *National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Anthem Press, 2010.

FROMHOLD-EISEBITH, Martina. Bridging Scales in Innovation Policies: How to Link Regional, National and International Innovation Systems. *European Planning Studies*, 15:2, 217-233, fev 2007.

GASPAR FILHO, Victor; SANTOS, Thauan. Energy Security Transition: clean energy, critical minerals, and new dependencies. *Ambient. soc.* v. 25, 2022, .Disponível: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/QfkCFyq38HWdKJcKrP8wvZR/>. Acesso em: 18 mai 2023.

GIBBONS, Michael *et al.* *New Production of Knowledge: Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. London: Sage, 1994.

GIZ. Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management: A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries (2017). Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf. Acesso em: 29 mai 2023.

GOMES, Maria da Conceição Rabelo *et al.* Analysis of the Levels of Alteration of Aquifers Caused by the Installation of Wind Farms on Dunes on the Coast of Ceará, Brazil. *Taubaté: Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 14, n. 6, 2019, e2430.

GONZALEZ-PEREZ, Maria Alejandra. Climate Change and the 2030 Corporate Agenda for Sustainable Development. *In.*: GONZALEZ-PEREZ, Maria Alejandra; LIAM, Leonard.

Climate Change and the 2030 Corporate Agenda for Sustainable Development. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/311747311_Climate_Change_and_the_2030_Corporate_Agenda_for_Sustainable_Development. Acesso em: 26 mar 2023.

IEAa. World Energy Investment (2022). Disponível em:

<https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>. Acesso em: 28 jan 2023.

IEAb. World Energy Outlook (2022). Disponível em:

<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 28 jan 2023.

IMAI, Hugo Eiji *et al.* Simulação computacional como ferramenta de otimização na geração de energia solar fotovoltaica. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 12, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/M7pCXy7BHkBJdh3P7r7dw7S/>. Acesso em: 13 mai 2023.

IPCC. Summary for Policymakers. *In.*: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SPM_version_report_LR.pdf. Acesso em 30 jan 2023.

JUCÁ, Beatriz; BETIM, Felipe. Os ventos da economia verde não sopram para o Quilombo do Cumbe. Disponível em:

<https://brasil.elpais.com/brasil/2021-11-20/os-ventos-da-economia-verde-nao-sopram-para-o-quilombo-do-cumbe.html>2021. Acesso em: 19 set 2023.

LEYDESDORFF, Loet. The New Communication Regime of

University-Industry-Government Relations. *In.*: ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. Universities and the Global Knowledge Economy: A Triple Helix of

University-Industry-Government Relations. London: Pinter, 1997, p. 130-153. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3404823. Acesso em: 15 set 2023.

LUNDVALL, Bengt-Åke (org.). National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Anthem Press, 2010.

MARCOLINO, Juliane Bernardes; MOEHLECKE, Adriano; ZANESCO, Izete.

Desenvolvimento e análise de células solares com campo retrodifusor formado por pasta de alumínio e difusão em forno de esteira. *Rev. Esc. Minas*, v. 66 (3), set 2013.

MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; ECHER, Mariza Pereira de Souza.

Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, 2004, p. 145-159.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica.

Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 2008, p. 1304

MAZZUCATO, Mariana. Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism.

London: Penguin Books Ltd, ed. 1, 2021.

MEIRELES, João Batista; SAKAMITI, Guilherme Pennachin; CASTRO, José Adilson de. Avaliação de Eletrodos de Solda a Ponto por Resistência Elétrica Revestidos com Cromo em Solda de Zircalloy. *Soldagem & Inspeção*, v. 23(3), 2018, p.350-363.

MELO, 2013. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. *Estud.*, 2013, v 27 (77), p.125-142. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/zBBsn8sJczDLbqRmVMssnDy/>. Acesso em: 13 jun 2023.

MICENA, Raul Pereira *et al.* Estudio técnico del uso de energía solar y biogás en vehículos eléctricos en Ilhabela-Brasil. *Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología*, n. 20, julio-diciembre 2018, p. 58-69.

MIOLA, Brígida *et al.* Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.25 n.4, jul/ago 2020, p. 627-634.

MIRANDA, Palmas de comunidades ribereñas como recurso sustentable en la Amazonía brasileña. Peru: *Rev. peru. biol.* 15(supl. 1), nov 2008, p.115-120. Disponível em: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332008000000013. Acesso em: 08 mai 2023.

MME. Mais Luz para a Amazônia (2023). Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/acoes-e-programas/programa-mais-luz-para-a-amazonia>. Acesso em: 05 set 2023.

MOHIELDIN, M. *et al.*. The Leading Role of National Governments in Building Forward Better. In.: MOHIELDIN *et al.*. *Business, Government and the SDGs: The Role of Public-Private Engagement in Building a Sustainable Future*. Palgrave Macmillan, Suíça: Springer Nature, 2023, p.19-64

MONTENEGRO, Rosa Livia Gonçalves; BRITTO, Gustavo; RIBEIRO, Leonardo Costa. Macro-comparative analysis of environmental innovation (1990, 2000 and 2010). *Rev. Bras. Inov.*, jul-dez 2018, v. 17, p.317-344. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/n3mnLqYHxy68hYcyh8WDkBx/?lang=en>. Acesso em: 13 jun 2023.

MONTERO, Fidel E. Hernandez *et al.* Monitoreo por condición a aplicar en parques de turbinas eólicas. *Revista Ciencia Tecnología*, Año 13, n. 15, 2011, p. 17-24.

MOREIRA, Helena Margarido; GIOMETTI, Analúcia Bueno dos Reis. O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa. Rio de Janeiro: Contexto Internacional, vol. 30, n. 1, janeiro/abril 2008, p. 9-47.

MOREIRA JÚNIOR, Orlando; SOUZA, Celso Correia de. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. *Campo Grande, MS: Interações*, v. 21, n. 2, abr./jun. 2020, p. 379-387.

MOURIÑO, Gabriela Leal de; ASSIREU, Arcilan Trevenzoli; PIMENTA, Felipe. Regularization of hydroelectric reservoir levels through hydro and solar energy complementarity. *Porto Alegre: RBRH*, v. 21, n. 3, jul-set 2016, p. 549-555.

MURARI, A. L. L. F. *et al.* Electromagnetic Core Analysis of a DFIG State-Feedback Power Controller. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, Vol. 18, n. 3, september 2019, p.343-357.

NARDELLI, Andrei; FUTAI, Marcos Massao. Assessment of Brazilian onshore wind turbines foundations. *Revista IBRACON Estrutur. Mater.*, vol. 15, no. 5, e15508, 2022, p.1-19.

NASIRITOUSI, Naghmeh; BÄCKSTRAND, Karin. International Climate Politics in the post Paris era. Disponível em: https://nordregio.org/wp-content/uploads/2018/10/International-Climate-Politics-in-the-post-Paris-era_Nasiritousi.pdf. Acesso em: 26 mar 2023. Suécia: Universidade de Estocolmo, 2018.

OLIVA, José de Jesús Rivero; OJEDA, Manuel Perdomo. Influência da política de testes na confiabilidade de sistemas tecnológicos. *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: Ingeniería Energética*, vol. XL, n. 2, , 2019, p. 148-157.

ONU. Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dec. 12, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 02 fev 2023.

OSTROM, Elinor. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change* 20 (2010), p. 550-557. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378010000634>. Acesso em: 22 fev 2023.

PATERNIANI, José Euclides Stipp; SILVA, Marcelo Jacomini Moreira da. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. *Engenharia Sanitária Ambiental*, vol.10, n. 1, jan/mar 2005, p. 9-1.

PRISMA. PRISMA for Scoping Reviews, 2018. Disponível em: <http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/Checklist>. Acesso em: 04 ago 2023.

RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. CO₂ emissions. *Our World in Data*, 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 28 mai 2023

ROCHA, Israel de Jesus. A insustentável invisibilidade do nuclear: os processos de publicização dos problemas sociais e ambientais decorrentes da exploração do urânio em Caetité, BA. *Revista de Ciências Sociais Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais, Civitas* 20 (2), maio-ago. 2020, p.164-174

ROCHA, Paulo Alexandre Costa. *et al.* Montagem e testes de uma bancada para medição de desempenho de aerogeradores em escala. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n. 2, 2309, 2010.

ROCHA, Ronilson *et al.* Multivariable H₂ and H_∞ Control for a Wind Energy Conversion System – A Comparison. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science & Engineering*. Vol. XXXII, No. 4, October-December 2010, p. 510-518.

ROMAN, Mona *et al.* Quadruple Helix Models for Sustainable Regional Innovation: Engaging and Facilitating Civil Society Participation. *Economies*, v. 8, 48, 2020.

SANTANA, Amanda Oliveira de; SILVA, Tarcísio Augusto Alves da. Produção de energia eólica em Pernambuco e a injustiça ambiental sobre comunidades rurais. *Rev. katálýsis* 24 (1), jan-abr 2021, v. 24, p. 245-254.

SANTOS, Silvio Francisco dos; BORSCHIVER, Suzana; SOUZA, Vanderléa de. Mapping Sustainable Structural Dimensions for Managing the Brazilian Biodiesel Supply Chain. *Journal of Technology Management & Innovation*, Santiago abr. 2014 v. 9, p. 27-43.

SCHUMPETER, Joseph A. I. How the Economic System Generates Evolution. *In.*: SCHUMPETER, Joseph A. *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. London: McGraw-Hill Book Company, 1939, p. 64-131.

SILVA, Cláudio Tavares; DONADON, Maurício Vicente. Unsteady Blade Element-Momentum Method Including Returning Wake Effects. *São José dos Campos: Journal Aerospace Technology Management*, vol.5, n. 1, Jan.-Mar., 2013, p.27-42.

SILVA, Reginaldo da *et al.*, 2004. Células solares “caseiras”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 4, 2004, p. 379-384.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estud. av.* 27 (77), 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/RTVwH7KyhtcgdPMGvDrCC3G/>. Acesso em: 18 mai 2023.

SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 42, 2017.

STORTI, Dienifer Regina Fortes; MARTINELLI JUNIOR, Orlando. Patentes em energias renováveis: um estudo exploratório a partir de indicadores para países selecionados. *Estudos Econômicos* [online]. 2022, vol.39, n.78, pp.127-156. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2525-12952022000100127&script=sci_abstract. Acesso em: 18 mai 2023.

TISEO, Ian. Largest Global Emitters of Carbon Dioxide by Country (2023). STATISTA. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/271748/the-largest-emitters-of-co2-in-the-world>. Acesso em 02 set 2023.

VICTOR, David G. Toward Effective International Cooperation on Climate Change: Numbers, Interests and Institution. *Global Environmental Politics*, ago 2006, p.90-103.

WOLFE, Lauriane; PROCTER Ed; KREIENKAMP, Julia. Climate Governance after the Paris Agreement: Workshop Report. University College London (UCL), 2017. Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/global-governance/sites/global-governance/files/policy-brief-climate-change-after-the-paris-agreement.pdf>. Acesso em: 26 mar 2023.