

## Inovação Sociotécnica e Multinível em Energia Eólica

### *Sociotechnical and Multilevel Innovation in Wind Energy*

Andriele de Prá Carvalho <sup>1</sup>

Paula Regina Zarelli <sup>2</sup>

Beatriz da Silva Rodrigues <sup>3</sup>

#### Resumo

O declínio das reservas de petróleo, o aumento dos seus valores, a poluição ambiental e o contexto de mudanças climáticas no globo, tem ocasionado constantes preocupações entre as nações sobre as questões energéticas. Neste contexto, o estudo analisa, no âmbito multinível, os processos de influências sofridas pela inovação em diferentes direções a partir de três níveis: nível micro, onde ocorre o surgimento de inovações radicais; nível meso, correspondente aos regimes sociotécnicos; por último, o nível macro, caracterizado pelo ambiente que proporciona mudanças estruturais como um todo na sociedade. Perante o exposto, a proposta deste trabalho foi responder a seguinte questão: Quais são as principais lacunas e apontamentos dos estudos sobre energia eólica a partir de uma abordagem sociotécnica e perspectiva multinível da inovação? Como procedimentos metodológicos, realizou-se uma revisão sistemática de literatura com as seguintes etapas: formulação da questão da pesquisa; localização dos estudos; seleção e avaliação dos estudos; análise e síntese; relatório dos achados da pesquisa. Por fim, como resultados no nível micro, nota-se a presença nítida dos multiatores os quais impulsionam iniciativas para os despontamentos dos nichos. No nível meso, fica evidente que se parte de iniciativas de diferentes empresas, pesquisas e trabalhos em direções similares. E o nível macro mostra as janelas de oportunidades que a inovação sofre em função do sistema, entre as suas características, ênfase na presença dos governos e um apoio de estruturas baixo carbono. Com este estudo, espera-se contribuir com a evolução crítica do tema a nível global.

**Palavras-chave:** Inovação Sustentável; Inovação Sociotécnica; Análise Multinível; Energia Eólica.

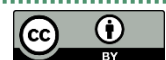
#### Abstract

*The decline in oil reserves, the increase in their values, environmental pollution and the context of climate change across the globe have caused constant concerns among nations about energy issues. In this context, the study analyses, at a multilevel level, the processes of influence suffered by innovation in different directions from three levels: micro level, where radical innovations emerge; meso level, corresponding to socio-technical regimes; finally, the macro level, characterized by the environment that provides structural changes in society. In view of the above, the purpose of this work was to answer the following question: What are the main gaps and points in studies on wind energy from a sociotechnical approach and multilevel perspective of innovation? As methodological procedures, a systematic literature review was carried out with the following steps: formulation of the research question; location of studies; selection and evaluation of studies; analysis and synthesis; report of research findings. Finally, as results at the micro level, there is a clear presence of multi-actors who drive initiatives for niche developments. At the meso level, it is evident that there are initiatives from different companies, research and work in similar directions. And the macro level shows the windows of opportunities that innovation suffers depending on the system, among its characteristics, emphasis on the presence of governments and support from low-carbon structures. With this study, we hope to contribute to the critical evolution of the topic at a global level.*

**Keywords:** Sustainable Innovation; Sociotechnical Innovation; Multilevel Analysis; Wind Energy.

Recebido em (*manuscript first received*): 28/02/2023

Aprovado em (*manuscript accepted*): 24/06/2024



<sup>1</sup> Doutora em Administração, Universidade Positivo, Professora do Magistério Superior, UTFPR.

<sup>2</sup> Administradora. Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento (UFSC), Professora UTFPR.

<sup>3</sup> Bacharel em Engenharia Ambiental, UTFPR.

## 1 Introdução

Com o início das instabilidades geopolíticas econômicas na década de 1970, fomentou-se as preocupações mundiais em decorrência ao declínio das reservas de petróleo. Assim, manifestou-se debates a respeito da essencialidade da diversificação energética, especialmente na Conferência de Estocolmo, em 1972.

Desta forma, como fonte de energia renovável, a energia eólica, segundo o *Global Wind Report* (2017), pode ser uma alternativa para complementação do ambiente energético de um país, visto que tanto a energia eólica onshore, quanto offshore, são consideradas energia limpa e sustentável, além de possibilitar apoio a economia global e ao demasiado crescimento populacional, o qual estima-se a chegada de nove bilhões de pessoas em 2040.

Ao combinar sustentabilidade com inovação encontra-se o conceito de ecoinovação, que tem como seu principal objetivo favorecer o desenvolvimento tecnológico combinado com o equilíbrio dos três pilares da sustentabilidade (econômico, social e tecnológico), proporcionando uma interação entre si de uma forma harmônica (Geels, 2011).

Para o autor, entender todo processo de disseminação de novas tecnologias enseja entender os diferentes atores que envolvem o processo, o ambiente em que está inserida e as visões globais. A fim de analisar essa dinâmica de desenvolvimento e aplicação da nova tecnologia, a perspectiva sociotécnica e multinível da inovação é fundamental para esse entendimento.

Vale salientar que com o surgimento da temática, houve a intensificação no âmbito do desenvolvimento tecnológico mundial, o que contribui para promover a relevância das fontes de energia renováveis (Rego & Ribeiro, 2018).

Assim, estudos surgem para entender e analisar essa temática de inovações na área de energia eólica com foco em entender os atores responsáveis pelo processo, o regime dominante ou ambiente sociotécnico vigente, além do ambiente macro (Geels, 2004; Dos Reis & Vaz, 2019). Ou seja, analisar o todo dessa dinâmica que ocorre em todos os níveis para a disseminação e transição para uma nova tecnologia, que é a energia eólica. Neste cenário, o objetivo desse artigo é analisar de forma sistemática os estudos publicados sobre o tema de energia eólica em uma perspectiva sociotécnica e multinível para sustentabilidade ambiental.

Para isso, foram levantados estudos que abordam o tema da perspectiva multinível na transição para a energia eólica, com o intuito de analisar os estudos publicados e quais suas principais lacunas e tendências de pesquisa sobre os temas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Ecoinovação: Inovação e Sustentabilidade Ambiental

A inovação tem um processo de adaptação mediante as necessidades do meio, que surgem em um contexto técnico, social e ambiental. Entretanto, assim como o conceito social, o ambiental surgiu em uma realidade de preenchimento de uma lacuna no campo que relaciona inovação e sustentabilidade (Geels, 2006).

Desta forma, antes do surgimento da indústria, os produtos eram obtidos, em sua maioria, através do trabalho manual, fator que propiciava pequenas produções. Com o tempo, tornou-se inviável diante de uma população que crescia exponencialmente. Além da ideologia capitalista, que visava a produção rápida e em maior quantidade, interessados apenas no lucro (Cavalcante & Silva, 2011).

Neste panorama de crescimento populacional e econômico, o uso dos recursos naturais e as emissões atmosféricas aumentaram significativamente o impacto sobre o meio ambiente, no qual o gerenciamento destes recursos tornou-se foco de preocupação para humanidade (ONU, 2019).

Oriundo dessas preocupações surgiram os principais grandes eventos voltados para o meio ambiente, como a Estocolmo (1972) e o relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente publicado em 1987 que tinha em seu escopo o reconhecimento do potencial da tecnologia para solucionar os problemas do meio ambiente. Posteriormente, a Eco 92; a definição dos objetivos do milênio trazendo as oito metas relacionadas ao desenvolvimento sustentável; Rio +20; Acordo de Paris, entre outros. Entretanto, apesar dos países presentes estabelecerem escopos diferentes para os eventos, a maioria possuía um interesse em comum, o do desenvolvimento das nações aliado a sustentabilidade.

Nota-se que as questões ambientais ganharam certa visibilidade, com o desafio de combinar inovação e sustentabilidade ambiental em negócios estratégicos e na estrutura energética do país, no sentido de iniciativas que mitiguem os possíveis danos ambientais (Bossle *et al.*, 2016).

Sabe-se que o crescimento econômico depende diretamente da inovação e, muitas vezes, está associado a danos ambientais, porém, o caráter crítico ambiental mais solidificado na sociedade, menciona que o impulso econômico das empresas passou a ser a combinação dos requisitos técnicos, sociais e ambientais. Além disso, as instituições tentam lidar com os desafios ambientais para mitigar os impactos ao meio e principalmente proteger sua reputação (Weber & Weber, 2005).

Para estes autores, agregar técnicas e tecnologias que combinem práticas sustentáveis com o aspecto social trata do conceito de inovação sustentável, também conhecido comoecoinovação, que tem como principal objetivo apoiar tecnologias inovadoras no crescimento econômico conciliadas com a proteção ambiental.

Este conceito visa atrair atenção de empresas e governos como alternativa para o desenvolvimento sustentável, atrelado a diminuição de custos e impactos ambientais (Tamayo-Orbegozo, Vicente-Molina & Villarreal-Larrinaga, 2017). Nesta ótica, as instituições passaram a buscar a sustentabilidade na qual rege uma integração equilibrada de desempenho econômico, inclusão social e a resiliência ambiental, para favorecer não apenas as populações atuais, mas também as gerações futuras (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Entender o real significado de inovação sustentável pode ser uma das principais lacunas no mundo dos negócios. Visto que os sistemas de ecoinovação não se limitam apenas a mudanças nas linhas de fabricação de produtos, mas às mudanças na maneira de pensar, individual e coletiva, na promoção de conceitos, ecologicamente corretos, que resultam em uma nova política empresarial, comportamental e produtiva, gerando benefícios sociais e ambientais (Abrahão & Souza, 2021).

Porém, a implantação de sistemas de gestão ambiental vai além de adotar e executar a estratégia da sustentabilidade (Wijethilake, 2017). Estes sistemas devem proporcionar mudanças nos modelos de negócios para aproveitar o crescimento verde (Tamayo-Orbegozo, Vicente-Molina & Villarreal-Larrinaga, 2017). Somado a tais pontos, para a manutenção a longo prazo de iniciativas ecoinovadoras e uma possível mudança na cultura empresarial, as entidades precisam incentivar os colaboradores, através de ofertas de cursos, busca por informações e adequações no local de trabalho. Além de inclusão de políticas organizacionais que estimulem a criatividade e conseqüentemente a inovação.

Em resumo, a inovação sustentável tornou-se um grande impulso para alcançar o desenvolvimento sustentável, pois envolve a inovação tecnológica, de produto, de processo e social, que são necessárias para a conservação de energia, prevenção da poluição e iniciativas de gestão de resíduos na cadeia de abastecimento (El-Kassar & Singh, 2019).

## 2.2. Abordagem sociotécnica

A trajetória da perspectiva sociotécnica destaca a importância das relações multiníveis para a transição da sustentabilidade, que ocorrerá a longo prazo, e diferentemente da abordagem evolucionista, agregará as mudanças no caráter social da sociedade. O processo de transição não é linear, pois abrange mudanças em tecnologia, economia, instituições, comportamento, cultura, ecologia e crenças (Mendonça, Cunha & Nascimento, 2013).

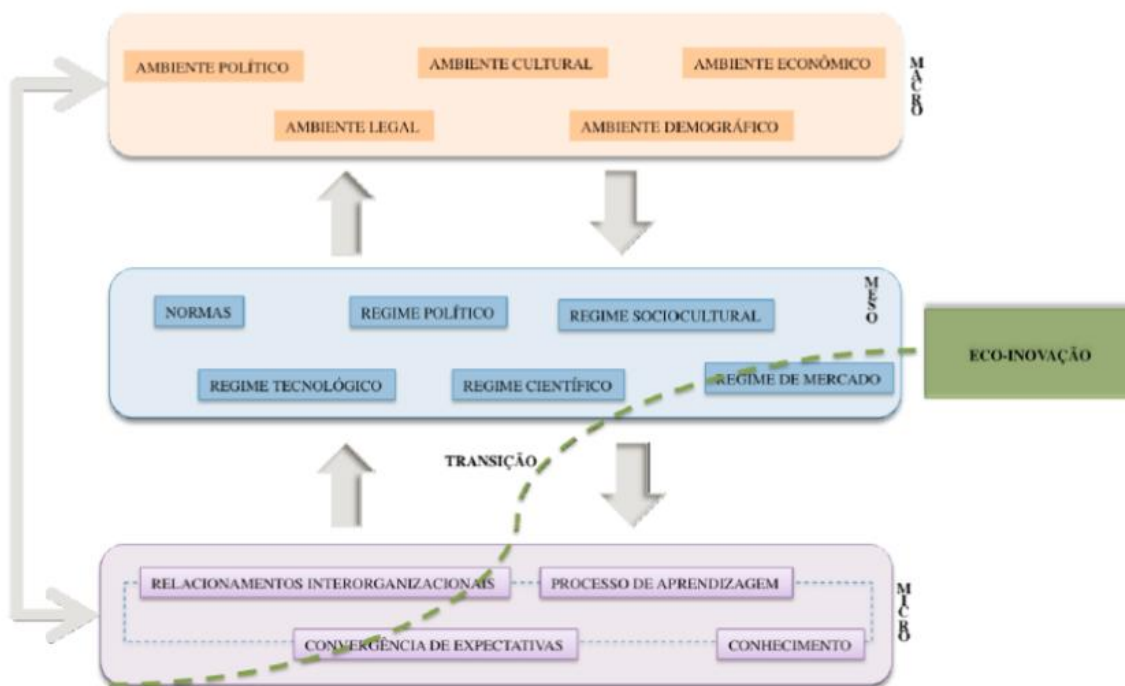
Os autores ilustram na Figura 1 a relação dos níveis que a ecoinovação pode ser analisada. De acordo com Geels e Penna (2015), o processo multinível ocorre em diferentes direções e conduz a trajetória de coevolução (evolução conjunta de processos) para ecoinovação. Inicia-se no nível dos nichos, no qual forma novos regimes no nível meso e ocorre a transformações estrutural no nível macro, que a partir disso passa a influenciar e ser influenciado.

Portanto, a ecoinovação em uma análise multinível e perspectiva sociotécnica, iniciará seu processo nos nichos, em que sendo aceita, ocorrerá o desenvolvimento de um novo regime sociotécnico (meso). Essas mudanças, segundo Kemp e Rotmans (2010), estão suscetíveis ao nível macro, no qual ocorrem as transformações estruturais no ambiente. Essas transformações são capazes de abrir janelas de oportunidades para atores dos nichos, pois o nível macro, ao questionar e influenciar o regime, gera oportunidade para os nichos (Smith, Voß & Grin, 2010).

Desta forma, pode-se dizer que os nichos atendem as demandas do nível macro através de ideias radicais e tendem a fornecer novos produtos para atender as demandas da sociedade. Segundo Gross *et al.* (2018) a concepção dos nichos como um nível que oferece proteção para as inovações criadas, pois estarão neste nível até estarem preparadas para a difusão correta no mercado através de mudanças culturais, legais e sociais.

O nível meso é associado a mudanças no regime sociotécnico e caracterizado por instruir uma comunicação entre as inovações. O nível micro, com os multiatores envolvidos, intervem no fluxo de tecnologias voltado para o uso da energia eólica. O nível macro, entre os níveis, é o processo mais lento, pois dependerá de multifatores para ser implementado, desde a “solidificação” dos níveis anteriores, bem como mudanças nos valores culturais, padrões demográficos, mudanças políticas, problemas ambientais e escassez de recursos (Geels, 2004; Smith, Voß & Grin, 2010).

Figura 1. Relações de análise multinível da transição sociotécnica para a ecoinovação



Fonte: Mendonça, Cunha e Nascimento (2013).

Quando tratado da análise multinível da transição para ecoinovação mostra que esse contexto abrange diferentes agentes no sistema, podendo ser incluído as mudanças de comportamento e perspectivas da sociedade (Safarzynska, 2021). Para Kemp e Rotmans (2010), a trajetória para ecoinovação ultrapassa as simples mudanças tecnológicas, ou seja, envolvem respostas proativas e mudanças na sociedade como um todo.

Portanto, associado tanto pelo processo de integração entre os agentes, como pela coevolução, entre os três nichos da análise multinível, a transição para ecoinovação envolve o surgimento de inovações radicais, formação e estruturações no nível meso e consequentemente alterações estruturais no nível macro.

A perspectiva multinível, na visão de Geels e Schot (2007), entende as transições tecnológicas como um processo alinhado entre vários níveis, em que a tipologia é regida em variações de tempo e natureza das interações dos níveis.

Genus e Coles (2008) discutem a mudança tecnológica como um processo social de assimilação de novas tecnologias que alteram regimes existentes, guiando a interação dos atores em vários níveis e partem de uma análise de episódios passados da inovação transformacional nos níveis.

A adoção dessa perspectiva, segundo Geels (2004), objetiva avaliar a inovação não apenas no sentido da produção, mas também no contexto social. Portanto, o sistema sociotécnico integra a produção, difusão e uso da tecnologia, combinando-os de forma que as funções da sociedade sejam satisfeitas.

Desta forma, são três níveis abordados na perspectiva multinível: o primeiro é nível micro (também conhecido como nichos), o segundo é o nível meso onde ocorrem os desenvolvimentos tecnológicos, e o terceiro é o nível macro, estabelecido como da sociedade como um todo.

O nicho (nível micro) é caracterizado por um processo de construção e estruturação das ideias e projetos. O seu escopo central é o aprendizado, especificações técnicas,

preferências dos possíveis consumidores do produto e políticas públicas. Porém, as ideias que originam desse nível são inicialmente configurações sociotécnicas incertas com baixo desempenho (Geels, 2006; Geels & Schot, 2007).

Além disso, segundo Geels *et al.* (2017), ainda sobre o mesmo nível, pode ser configurado como pequenos nichos de mercado, em que possuem diferentes critérios de seleção daqueles existentes no regime ou podem partir de investimentos públicos ou por financiamentos privados.

Sabendo que a inovação radical no nível dos nichos ocorre tanto de mudanças oriundas do ambiente, quanto na forma de processos chamados de *bottom-up*, é esperado que sejam utilizados nos regimes ou que substituam os já existentes (Geels, 2011).

O nível meso, conhecido como regime sociotécnico, é caracterizado por criar estabilidade, pois pode ocorrer em diferentes empresas, pesquisas e trabalhos em direções similares. Resultado dessa interação, a tecnologia percorre um nível setorial que proporciona mudanças incrementais para refinar processos tecnológicos existentes em direções específicas. Entretanto, este nível exerce uma força estrutural sobre as alternativas de novidades surgidas nos nichos (Berkhout, 2002; Geels, 2006; Geels & Kemp, 2007).

Ainda referente ao nível meso, para Geels (2011), trata-se de uma acumulação coevolucionária e alinhada de conhecimento, investimentos, objetos, práticas, infraestrutura e valores, que contemplam a divisão do viés produção – consumo, que orientam e regem as atividades dos grupos sociais e reproduzem os vários elementos do sistema sociotécnico.

No nível do ambiente macro, as mudanças ocorrem de forma gradual, percebidas ao longo do tempo, como crescimento econômico, mudanças nos valores culturais, padrões demográficos, mudanças políticas, problemas ambientais e escassez de recursos, podendo desta forma, exercer pressões no nível do regime de forma a criar oportunidades para as novas tecnologias (Geels, 2002; Geels & Schot, 2007).

### 3 METODOLOGIA

O presente artigo trata-se de uma pesquisa de natureza bibliográfica, executado por meio de revisão e análise sistemática de literatura a respeito da abordagem multinível dos sistemas de inovação no âmbito energético e transição sociotécnica. Apresenta desde os objetivos, aos resultados e as recomendações do portfólio final de artigos selecionados.

A escolha da literatura analisada foi definida por meio das bases de dados *Science Direct* e *Scopus* no mês de junho de 2022, utilizando as palavras-chave “*Socio-technical perspective*” OR “*Analyze multilevel*” OR “*Socio-technical*” AND “*Innovation*” AND “*Wind energy*” e filtrado para área de *Business, Management and Accounting*. Além do refinamento apenas para categoria de artigos de pesquisa e revisão, não foi inclusa a categoria de livros, capítulos de livros, jornais, entre outros. Além disso, não foi levado em consideração o recorte temporal, ou seja, todos os anos foram considerados na busca.

Feito a listagem dos artigos, primeiramente, foram analisados mediante a leitura de títulos e selecionados de acordo com o tema inovações na energia eólica a partir de uma perspectiva sociotécnica e multinível. Para o segundo refinamento, considerou-se os resumos e resultados dos trabalhos, com vistas a selecionar os reais estudos que abordavam a temática estudada.

Com a seleção dos trabalhos finalizada, foi possível iniciar a escrita, de forma que todos os trabalhos que não apresentaram correlação direta com o tema, foram descartados. Nesta etapa final, as informações foram organizadas e categorizadas através de planilha, e a partir dos resumos e resultados sobre cada trabalho, analisou-se a conexão entre as temáticas e a diferenciação entre os níveis sociotécnicos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise multinível aponta o processo de influências sofridas pela inovação em diferentes direções a partir dos três níveis: nível micro, onde ocorre o surgimento de inovações radicais; nível meso, correspondente aos regimes sociotécnicos; por último, o nível macro, caracterizado como o ambiente que proporciona as mudanças estruturais na sociedade.

### 4.1. Nível micro

Denomina-se nível micro os pequenos nichos de mercado, bem como os investimentos públicos e privados, além das especificações técnicas, preferências dos possíveis consumidores do produto e políticas públicas.

Kriechbaum, Posch e Hauswiesner (2021) apresentaram a implementação de políticas governamentais como a EEG 2004 (Lei de Fontes de Energia Renovável) e o aumento da consciência climática que despontaram algumas especificações técnicas. Da mesma forma, Rogge, Pfluger e Geels (2020) mostraram a ocorrência de algumas iniciativas do governo proporcionando isenções para pequenos investidores e cooperativas do setor elétrico, entretanto, com contestações oriundas de associações da indústria de energia renovável e economistas importantes.

Foram constatados estudos que levam em conta multiatores heterogêneos explícitos e políticas nacionais como capazes de afetar o caráter das transições (Li, Trutnevyte e Strachan, 2015; Verbong & Geels, 2010). Além disso, os estudos demonstram a importância do grupo de multiatores sobre a energia eólica, visto que mostram as influências que esses grupos podem oferecer. De forma similar, Edsand (2017) notou algumas pressões do sistema por parte de Universidade e comunidades indígenas.

Em Ford *et al.* (2021), tem-se a proposição da diversificação dos atores do sistema tradicional, ao qual introduz novos objetivos e valores em torno do que os sistemas de energia locais poderiam (ou deveriam) fornecer, além dos serviços de energia tradicionais.

Ainda segundo os autores, algumas estruturas de governança devem permitir novas formas de operação localizada e otimização, tomada de decisão e planejamento mais inteligentes, quando executadas por novos atores e engajamento de usuários de novas maneiras.

Na mesma linha, Veenman, Sperling e Hvelplund (2019) e Jørgensen (2005) relatam os atores, histórias e contextos, aos quais os primeiros passos tratam da materialização de um quadro futuro, bem como a disseminação e fusão de ideias em várias redes de atores, como universidades, Organizações não Governamentais (ONGs), especialistas técnicos, etc.

Nesse mesmo contexto, Karkhumaa (2019) constatou que as autoridades municipais, importantes atores na regulamentação da produção de energia, incluem o planejamento e a definição de metas para a redução de carbono e por meio de seus papéis nas empresas locais de energia. Como os políticos negociam e constroem seus pontos de vista sobre a política energética antes de vocalizá-los publicamente está fora do escopo deste estudo.

Reichardt *et al.* (2016) apontaram que as dimensões servem para especificar elementos, processos e características, ou seja, o escopo de uma combinação de políticas. Incluem, entre outros, o nível de governança, como atores regionais *versus* nacionais, incluindo tanto os atores políticos quanto os alvos, e o tempo, que capta a natureza dinâmica das combinações de políticas e empreendedores.

Segundo Hekkert *et al.* (2020), os atores governamentais se envolvem com os atores industriais e trabalham dentro das competências existentes para atingir certas metas vinculadas aos grandes desafios da sociedade em um período curto. Por outro lado, Dóci *et al.* (2015) mostram que os nichos sociais da energia eólica se referem principalmente a ONGs, organizações governamentais ou comunidades locais que desenvolvem novos métodos e soluções para seus próprios problemas sociais. O Quadro 1 demonstra uma síntese do Nível Micro.

Quadro 1. Síntese do Nível Micro do Portfólio de Estudos Analisados

Nível	Características encontradas	Pressões no Sistema pelos Atores	Fragilidades do Nível
<b>Micro</b>	Iniciativas do governo (isenções); Multiatores heterogêneos explícitos; Atores (universidades, pressões de comunidades indígenas e empreendedoras); Cientistas, conhecimento financeiro e técnico de mercado; Políticas Nacionais; Reestruturação do setor energético; Laços entre o governo e as empresas estabelecidas.	Importância do grupo de multiatores; Construção de alianças, negociações e compromissos; Déficits de energia tradicional; Estruturas de governança; Envolvimento de atores governamentais com os atores industriais; ONGs, organizações governamentais ou comunidades locais que desenvolvem novos métodos e soluções para seus próprios problemas sociais.	Contestações de favorecimento de alguns setores; Projetos desiguais, devido a distribuição do dinheiro, conhecimento e ferramentas; Conflitos entre os interesses públicos e privados.

Fonte: Autores (2022).

## 4.2. Nível meso

Atualmente, as energias renováveis são uma das principais pautas quando se trata da política energética. Kriechbaum, Posch e Hauswiesner (2021) e Rogge, Pfluger e Geels (2020) decorrem sobre a emissão de carbono, sugerindo que uma das maneiras de reduzir a emissão deste é por meio da utilização de fontes de energias renováveis, como a energia eólica.

Os mesmos autores, assim como Frank (2016) citam o considerável crescimento na implementação deste tipo de energia, tendo em vista que na Alemanha, houve as legislações favoráveis a implementação da energia eólica, porém, esta enfrentou desafios, devido a rejeição da união europeia (UE) frente a referida legislação, ocasionando a disponibilidade decrescente de sites lucrativos.



Autores como Edsand (2017), Reichardt *et al.* (2016) e Dóci *et al.* (2015) explanam sobre a significativa demanda populacional, a qual consome cada vez mais energia. Sendo assim, a combinação de políticas que promovem o incentivo para a utilização de fontes renováveis torna-se cada vez mais indispensável. Edsand (2017) evidencia o alto potencial para geração eólica da Colômbia, tanto que, em 1994 uma nova lei deu início a reestruturação do setor energético colombiano.

Portanto, assim como a Alemanha e a Colômbia, o Reino Unido conta com políticas governamentais focados na redução dos gases do efeito estufa, sendo que a meta é reduzir em 80% até 2050. Para isso, há altos investimentos do setor de eletricidade, no setor eólico, considerando que no local, ao final dos anos 90, já havia pequenas usinas eólicas implantadas por agricultores e empresas de serviços públicos menores (Frank, 2016).

Seguindo a ideia de alteração no regime de eletricidade, os autores Verbong e Geels (2010) e Bento e Fontes (2016), apontam que os governos de diversos países como Holanda e Portugal visam a transição para energias cujas fontes sejam renováveis para as próximas décadas.

O governo holandês, por meio do Plano de Política Ambiental Nacional, assim como o Ministério de Assuntos Econômicos, luta para que isso aconteça, porém, essa transição não ocorre com tanta facilidade, pois os sistemas existentes são caracterizados pela estabilidade e bloqueio. Assim, as concessionárias de serviços públicos, produtores, operadoras de rede e reguladores, trabalham para chegar a um acordo com as políticas públicas, visando o crescente interesse em tecnologias de energia renovável (Verbong & Geels, 2010).

Em Portugal, a difusão da energia eólica foi significativamente rápida, coordenada pelo Ministério da Economia e posteriormente pelo Ministério do Ambiente, o país possui a energia oriunda dos ventos como a segunda maior quota de consumo total de eletricidade. Além do incentivo por parte do governo, a alta taxa de crescimento da capacidade eólica ocorreu devido uma série de empresas locais que atuam em diversos setores, como na fabricação de metais e equipamentos elétricos, produzindo componentes de energia eólica. (Bento & Fontes, 2016).

Na Dinamarca, conforme os trabalhos de Jørgensen (2005), atualmente, quase todos os novos empreendimentos assumiram a forma de parques eólicos *offshore*, ou seja, as usinas instaladas em alto mar. Também segundo Veenman, Sperling e Hvelplund (2019), a transição energética para uma produção de livre de carbono tornou-se um tópico importante para os formuladores de política do país. Mesmo com projetos de longo prazo, a ideia é acelerar essa transição com metas e cronogramas, por exemplo, a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) por meio do projeto Roteiro de Energia 2050, que explora diferentes maneiras para atingir a metas de redução dos GEE de 80% a 95% até 2050.

Entretanto, não são apenas os governantes dos países europeus, que estão preocupados com a transição para a economia verde e iniciativas de energia renovável, de acordo com Mathews (2013) e Kirkegaard (2016). Para os autores, a China vem se mostrando cada vez mais interessada no assunto, por meio de investimentos em tecnologias como energia solar fotovoltaica e eólica, visando a transformação destas em energias dominantes.

Outro país que utiliza da vasta quantidade de ventos para geração de energia é o Canadá, onde, de acordo com Haley (2018), na cidade de Nova Scotia, foram aprovadas metas ambientais, bem como a Lei de Prosperidade Sustentável, visando desenvolvimento econômico com metas específicas, tendo em vista a redução de 18,5% de utilização de energia vinda das hidrelétricas, substituindo por fontes renováveis.

Alguns artigos relatam sobre investimentos no setor de parque eólicos *offshore*, ou aqueles que são instalados em alto mar. Markard e Hoffmann (2016) destacam a energia eólica *offshore* como uma tecnologia emergente para geração de eletricidade devido sua grande capacidade de expansão, no entanto, mesmo com incentivos, não é tão explorada como as alternativas fósseis devido ao seu alto custo de instalação. Sendo assim, empresas e associações em energia eólica, trabalham juntas pressionando governantes por políticas favoráveis e efetivas.

Por fim, é possível citar sobre as utilizações da energia eólica, onde, segundo, Sutherland, Peter e Zagata (2015), a União Europeia (EU) incentivou desde a década de 1980, a diversificação de negócios do setor agrícolas para a produção de energia renovável por meio da Política Agrícola Comum. A UE também realizou o financiamento em larga escala para pesquisas e desenvolvimento de tecnologias eólicas, no entanto, os autores destacam que versões em menor escala, estavam sendo introduzidas simultaneamente em fazendas, para uso em unidades de refrigeração de energia e cercas elétricas, e conclui que os atores do regime agrícola foram importantes para o desenvolvimento de nicho desta tecnologia. O Quadro 2 demonstra uma síntese do Nível Meso.

Quadro 2. Síntese do Nível Meso do Portfólio de Estudos Analisados

Nível	Características encontradas	Mudanças incrementais
Meso	Legislações favoráveis; Novas leis que deram início a reestruturação do setor energético; Governo Holandês, por meio do Plano de Política Ambiental Nacional; Ministério de Assuntos Econômicos; Políticas governamentais focadas na redução dos gases de efeito estufa; Incentivo por parte do governo; Projeto Roteiro de Energia; Governantes dos países europeus; China – Energia; Coordenações pelo Ministério da Economia e Ministério do Meio Ambiente; Políticas de livre carbono; Transição para a economia verde; Lei de Prosperidade Sustentável; Diversificação de negócios do setor agrícola (Política Agrícola Comum).	Energia eólica e hidrelétrica devem ser complementares; Transição para energias renováveis; Governos de diversos países visam a transição para energias cujas fontes sejam renováveis para as próximas décadas; Na Dinamarca, atualmente, quase todos os novos empreendimentos assumiram a forma de parques eólicos <i>offshore</i> ; Crise de qualidade na indústria eólica; Empresas locais que atuam em diversos setores (produção de peças para geradores); Pouco incentivo para investimentos em grande escala de uma perspectiva de política climática nacional; Alto custo de instalação.

Fonte: Autores (2022).

### 4.3. Nível macro

Vários trabalhos identificam o a pressão no nível macro referente ao governo e suas políticas. Rogge, Pfluger e Geels (2020), Edsand (2017), Greenhuizen e Ye (2014), McMeekin, Geels e Hodson (2018), Smith, Stirling e Berkhout (2005), mostram como as políticas governamentais têm influência no regime macro para a disseminação de energia eólica. Angel e Rock (2009), Ford *et al.* (2021), Veenaman e Hvelplund (2019), mencionam como a integração entre o governo, instituições e ativistas tiveram impacto significativo para a construção e orientação no desenvolvimento energético industrial.

Casos de países como a Alemanha evidenciam grande importância ao tema no decorrer da história. Nordenvard e Urban (2015) e Kriechbaum, Posch e Hauswiesner (2021), relatam a geração de um novo mercado para as turbinas eólicas de baixa velocidade no sul do país e demonstram como a intenção na mudança da matriz energética vem sendo mencionada desde a década de 90. Reichardt, Rogge e Negro (2017) mostram que a integração entre o governo, empresas, organizações financeiras e ONG's, são protagonistas para a mudança na matriz energética da Alemanha. Além disso, Geels *et al.* (2017) demonstram os benefícios que a energia eólica traz tanto para a economia, como para a concretização da energia em comunidades periféricas do país.

Na Holanda, as metas para 2023 e 2030 tem grande foco para redução de custos e absorção do mercado, e a Agenda de Energia para 2050, evidenciam a implantação da energia eólica no país (Van der Loos, Negro e Hekkert, 2020). Na Califórnia, Ossenbrink *et al.* (2019) apresentam técnicas para armazenamento de energia como forma de transição energética e a disseminação de energia renovável. No Canadá, Haley (2018) identifica o desenvolvimento histórico como principal responsável pela mudança na matriz energética. Na Noruega, Normann (2017) relata a existência de indústrias ligadas a energia eólica.

Já na China, a energia eólica está diretamente relacionada com a diminuição de carbono para a atmosfera, Chalvatzis e Rubel (2015) relatam que o país China vem sendo observado pelo mercado internacional a respeito de atingir suas metas relacionadas à matriz energética do país. Além disso, Kirkegaard (2016) identifica que a energia eólica está sendo inserida em indústrias por haver planos de apoio, leis, políticas e regulamentos.

Vale ressaltar que pressões ambientais também são mencionadas em diversos estudos. Li, Trutnevyte e Stranchan (2015) e Karhunmaa (2019) identificaram as mudanças climáticas e a diminuição de emissão do carbono como demandas para a criação de novas fontes de energia. Sutherland, Peter e Zagata (2015) definem as pressões da paisagem relacionadas ao meio ambiente e mostram o comprometimento da Europa em atingir as metas designadas em agendas internacionais políticas. Jorgensen (2004) lista diversos objetivos de enquadramento para a transição na matriz energética em que a redução de impactos ambientais está presente.

E para minimizar o impacto ambiental que a energia vem causando a nível global, novas tecnologias são estudadas para otimizar o uso da energia eólica. Markard e Hoffmann (2016) mencionam a tecnologia como atividade complementar para a prestação de serviços setoriais no fornecimento de eletricidade. Bento e Fontes (2016) e Mathews (2013) mostram os desafios de manutenção da estrutura necessária para a geração de energia, e a competição no mercado produtivo para encontrar métodos eficazes para garantir sua manutenção e o desempenho de lucros superiores. Adicionalmente, Adagha *et al.* (2017) evidenciam os benefícios para o meio ambiente e as questões desafiadoras para a sociedade.

E por fim, outra variante para a disseminação da energia eólica é o investimento de organizações. Kern *et al.* (2015) mencionam o OWA *Accelerator* do *Carbon Trust*, o Programa OSW do *Energy Technology Institute*, o *Technology Strategy Board's Offshore Wind Component Technologies Development and Demonstration Scheme* e Centro

Nacional de Energia Renovável com a ajuda de fundos públicos para promover a mudança energética. O Quadro 3 resume as janelas de oportunidades do nível macro.

Quadro 3. Síntese do Nível Macro do Portfólio de Estudos Analisados – Janelas de Oportunidades

Nível	Características encontradas
Macro	Integração entre empresas, governo, organizações financeiras, ONGs são protagonistas da mudança na matriz energética da Alemanha; Políticas governamentais tem influência no regime macro para a disseminação de energia eólica; Agenda de energia para 2050 – Holanda; China – Cultura de baixo carbono (planos de apoio, leis, políticas e regulamentos); OWA <i>Accelerator</i> do <i>Carbon Trust</i> ; Programa OSW do <i>Energy Technology Institute</i> ; <i>Technology Strategy Board's Offshore Wind Component Technologies Development and Demonstration Scheme</i> ; Centro Nacional de Energia Renovável com a ajuda de fundos públicos para promover a mudança energética; Instituição entre governo, instituições e ativistas tiveram impacto significativo na construção e orientação do desenvolvimento energético industrial; Pressões ambientais (diminuição de emissão de carbono).

Fonte: Autores (2022).

## 5 Considerações Finais

Este estudo analisou de forma sistemática os estudos publicados sobre o tema de energia eólica em uma perspectiva sociotécnica e multinível para sustentabilidade ambiental. Notou-se no nível Micro a presença nítida dos multiatores os quais impulsionam iniciativas para os despontamentos dos nichos. Referente as fragilidades do nível, fica explicitada como podem influenciar na dispersão de inovações, tanto por falta de recursos, como de conflitos políticos.

No nível Meso, fica evidente que se parte de iniciativas de diferentes empresas, pesquisas e trabalhos em direções similares. Resultado dessa interação, a tecnologia percorre um nível setorial que proporciona mudanças incrementais para refinar processos tecnológicos existentes em direções específicas. Entretanto, este nível exerce uma força estrutural sobre as alternativas de novidades surgidas nos nichos.

Por fim, o nível Macro mostra as janelas de oportunidades que a inovação possui em função do sistema, entre as suas características encontradas ficou evidente a presença dos governos e apoio de estruturas de baixo carbono. Entretanto, mostra que não é um nível dominante, já que alguns autores citam a importância da energia eólica como apoio ao sistema energético já existente.

Como sugestões de estudos futuros, recomenda-se revisões adicionais de literatura sobre outros tipos de energias sustentáveis, a fim de compará-las com a energia eólica em análise multinível.

## Referências

- Abrahão, K. C. D. F. J., & Souza, R. G. V. D. (2021). Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. *Ambiente Construído*, 21, 383-408.
- Adagha, O., Levy, R. M., Carpendale, S., Gates, C., & Lindquist, M. (2017). Evaluation of a visual analytics decision support tool for wind farm placement planning in Alberta: Findings from a focus group study. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 70-83.
- Bento, N., & Fontes, M. (2016). The capacity for adopting energy innovations in Portugal: Historical evidence and perspectives for the future. *Technological Forecasting and Social Change*, 113, 308-318.
- Berkhout, F. (2002). Technological regimes, path dependency and the environment. *Global environmental change*, 12(1), 1-4.
- Bossle, M. B., de Barcellos, M. D., Vieira, L. M., & Sauvée, L. (2016). The drivers for adoption of eco-innovation. *Journal of Cleaner production*, 113, 861-872.
- Cavalcante, Z. V., & da Silva, M. L. S. (2011). *A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia*. Anais VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar.
- Dos Reis, C. C. C., & Vaz, C. R. (2019). *A Evolução do Setor Elétrico Brasileiro sob a ótica da Teoria das Transições Sociotécnicas*. In: Anais XXI Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente – ENGEMA.
- El-Kassar, A. N., & Singh, S. K. (2019). Green innovation and organizational performance: The influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices. *Technological forecasting and social change*, 144, 483-498.
- Ford, R., Maidment, C., Vigurs, C., Fell, M. J., & Morris, M. (2021). Smart local energy systems (SLES): A framework for exploring transition, context, and impacts. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120612.
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research policy*, 31(8-9), 1257-1274.
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy*, 33(6-7), 897-920.
- Geels, F. W. (2006). Co-evolutionary and multi-level dynamics in transitions: The transformation of aviation systems and the shift from propeller to turbojet (1930–1970). *Technovation*, 26(9), 999-1016.
- Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental innovation and societal transitions*, 1(1), 24-40.
- Geels, F. W., & Kemp, R. (2007). Dynamics in socio-technical systems: Typology of change processes and contrasting case studies. *Technology in society*, 29(4), 441-455.
- Geels, F. W. & Penna, C. R. (2015). Societal problems and industry reorientation: Elaborating the Dialectic Issue LifeCycle (DILC) model and a case study of car safety in the USA (1900–1995). *Research Policy*, 44(1), pp. 67-82.
- Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research policy*, 36(3), 399-417.
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. *Joule*, 1(3), 463-479.
- Gross, R., Hanna, R., Gambhir, A., Heptonstall, P., & Speirs, J. (2018). How long does innovation and commercialisation in the energy sectors take? Historical case studies of the timescale from invention to widespread commercialisation in energy supply and end use technology. *Energy policy*, 123, 682-699.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy– A new sustainability paradigm? *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.

- Genus, A., & Coles, A. M. (2008). Rethinking the multi-level perspective of technological transitions. *Research policy*, 37(9), 1436-1445.
- Haley, B. (2018). Integrating structural tensions into technological innovation systems analysis: Application to the case of transmission interconnections and renewable electricity in Nova Scotia, Canada. *Research Policy*, 47(6), 1147-1160.
- Jørgensen, U. (2005). Energy sector in transition—technologies and regulatory policies in flux. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(6), 719-731.
- Kemp, R., & Rotmans, J. (2005). The management of the co-evolution of technical, environmental and social systems. In *Towards environmental innovation systems* (pp. 33-55). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kern, F., Verhees, B., Raven, R., & Smith, A. (2015). Empowering sustainable niches: Comparing UK and Dutch offshore wind developments. *Technological Forecasting and Social Change*, 100, 344-355.
- Kirkegaard, J. (2016). China's Experimental Pragmatics of 'Scientific Development' in Wind Power: Algorithmic Struggles over Software in Wind Turbines. *The Copenhagen Journal of Asian Studies*, 34(1), 5-24.
- Kriechbaum, M., Posch, A., & Hauswiesner, A. (2021). Hype cycles during socio-technical transitions: The dynamics of collective expectations about renewable energy in Germany. *Research Policy*, 50(9), 104262.
- Li, F. G., Trutnevyte, E., & Strachan, N. (2015). A review of socio-technical energy transition (STET) models. *Technological Forecasting and Social Change*, 100, 290-305.
- Markard, J., & Hoffmann, V. H. (2016). Analysis of complementarities: Framework and examples from the energy transition. *Technological forecasting and social change*, 111, 63-75.
- Mathews, J. A. (2013). The renewable energies technology surge: A new techno-economic paradigm in the making? *Futures*, 46, 10-22.
- United Nations (2019). *Sustainable development goals report 2019*. UN, 2019. Disponível: <https://brasil.un.org/pt-br/55806-energia-limpa-desenvolvimento> Acesso em: 17 fev. 2024.
- Ossenbrink, J., Finnsson, S., Bening, C. R., & Hoffmann, V. H. (2019). Delineating policy mixes: Contrasting top-down and bottom-up approaches to the case of energy-storage policy in California. *Research Policy*, 48(10), 103582.
- Rego, E. E., & de Oliveira Ribeiro, C. (2018). Successful Brazilian experience for promoting wind energy generation. *The Electricity Journal*, 31(2), 13-17.
- Reichardt, K., Rogge, K. S., & Negro, S. O. (2017). Unpacking policy processes for addressing systemic problems in technological innovation systems: The case of offshore wind in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1217-1226.
- Rogge, K. S., Pfluger, B., & Geels, F. W. (2020). Transformative policy mixes in socio-technical scenarios: The case of the low-carbon transition of the German electricity system (2010–2050). *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119259.
- Safarzynska, K. (2021). A macro-evolutionary approach to energy policy. In *Handbook of Energy Economics and Policy* (pp. 579-593). Academic Press.
- Smith, A., Stirling, A., Berkhout, F. (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy* (Vol.34, pp. 1491-1510).
- Smith, A., Voß, J. P., & Grin, J. (2010). Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. *Research policy*, 39(4), 435-448.
- Sutherland, L. A., Peter, S., & Zagata, L. (2015). Conceptualising multi-regime interactions: The role of the agriculture sector in renewable energy transitions. *Research Policy*, 44(8), 1543-1554.

- Tamayo-Orbegozo, U., Vicente-Molina, M. A., & Villarreal-Larrinaga, O. (2017). Eco-innovation strategic model. A multiple-case study from a highly eco-innovative European region. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1347-1367.
- Update, A. M. (2017). Global wind report. *Global Wind Energy Council*.
- Van der Loos, H. A., Negro, S. O., & Hekkert, M. P. (2020). Low-carbon lock-in? Exploring transformative innovation policy and offshore wind energy pathways in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 69, 101640.
- Veenman, S., Sperling, K., & Hvelplund, F. (2019). How future frames materialize and consolidate: The energy transition in Denmark. *Futures*, 114, 102473.
- Verbong, G. P., & Geels, F. W. (2010). Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1214-1221.
- Weber, M., & Weber, M. (2005). *Towards environmental innovation systems* (pp. 1-351). J. Hemmelskamp (Ed.). Berlin: Springer.
- Wijethilake, C. (2017). Proactive sustainability strategy and corporate sustainability performance: The mediating effect of sustainability control systems. *Journal of environmental management*, 196, 569-582.

### Dados dos autores:

#### **Andriele De Prá Carvalho**

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0266-8595>

Doutora em Administração, Universidade Positivo, Professora do Magistério Superior, UTFPR.

Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: andridpc@gmail.com.


#### **Paula Regina Zarelli**

 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0279-6933>

Administradora. Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento (UFSC), Professora UTFPR.

Francisco Beltão, Paraná, Brasil. E-mail: przarelli@gmail.com.

#### **Beatriz Da Silva Rodrigues**

 ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-8443-3912>

Bacharel em Engenharia Ambiental, UTFPR.

Nova Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: bearod@alunos.utfpr.edu.br.

### Como citar este artigo:

Carvalho, A. P., Zarelli, P. R., & Rodrigues, B. da S. (2024). Inovação sociotécnica e multinível em energia eólica. *Amazônia, Organizações e Sustentabilidade*, 13(2), 77–91.