




## Inovação sociotécnica e multinível em energia solar: análise sistemática da literatura

### Sociotechnical and multilevel innovation in solar energy: systematic literature review

Alexandre Moreira Vieira <sup>1</sup> 

Andriele de Prá Carvalho <sup>2</sup> 

Natalia Veronica Anderloni <sup>3</sup>

Izadora Consalter Pereira <sup>4</sup> 

Aline Dario Silveira <sup>5</sup>

#### Resumo

A teoria sociotécnica da inovação analisa o processo de transição nos diferentes níveis, micro, meso e macro, conforme esclarece Geels (2002; 2004a e 2006). Essa teoria ao ser aliada ao estudo do desenvolvimento de tecnologias em energia renovável, especialmente a energia solar, aborda uma ampla gama de possibilidades de entender qual a trajetória tecnológica importante e necessária para que uma inovação possa ser definida no regime dominante do mercado. Assim, conhecer os diferentes estudos publicados nessa área e suas principais lacunas, podem auxiliar para futuras pesquisas. A seleção da literatura analisada foi determinada por meio de periódicos internacionais, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Directory of Open Access Journals e Science Direct, por meio das palavras-chave “energia solar”, “inovação sociotécnica” e “análise multinível”. Na área de busca definida, obtiveram um total de 94 artigos, dos quais após refinamento da pesquisa totalizaram 46 artigos. Assim, os estudos revelam que essas tecnologias podem remodelar os sistemas sociotécnicos emergentes e ampliar o desenvolvimento. Revelou-se assim lacunas de pesquisa que direcionam cada vez mais para entender a dinâmica da transição para a sustentabilidade no que diz respeito à utilização de inovação em energias renováveis.

**Palavras-chave:** Inovação Sociotécnica; Energia Solar; Análise Multinível; Sustentabilidade.

#### Abstract

The sociotechnical theory of innovation analyzes the transition process at different levels, micro, meso and macro, as explained by Geels (2002; 2004a and 2006). This theory, when combined with the study of the development of renewable energy technologies, especially solar energy, addresses a wide range of possibilities to understand what is the important and necessary technological trajectory for an innovation to be defined in the dominant market regime. Thus, knowing the different studies published in this area and their main gaps, can assist in future research. The selection of the analyzed literature was determined by means of international journals, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Directory of Open Access Journals and Science Direct, using the keywords "solar energy", "sociotechnical innovation" and "multilevel analysis". In the defined search area, they obtained a total of 94 articles, of which after refinement of the search, they totaled 46 articles. Thus, studies reveal that these technologies can reshape the emerging socio-technical systems and expand development.

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Brasil. E-mail: [alexandreveira@ufpr.br](mailto:alexandreveira@ufpr.br)

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Brasil. E-mail: [andridpc@gmail.com](mailto:andridpc@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Brasil. E-mail: [natianderloni@gmail.com](mailto:natianderloni@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Brasil. E-mail: [izadora.consalter@gmail.com](mailto:izadora.consalter@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Brasil. E-mail: [aline.dariosilveira@gmail.com](mailto:aline.dariosilveira@gmail.com)

Research gaps have thus been revealed that increasingly guide the understanding of the dynamics of the transition to sustainability with regard to the use of innovation in renewable energies.

**Keywords:** Sociotechnical Innovation; Solar Energy; Multilevel Analysis; Sustainability.

**Cite as: (APA)** Vieira, A. M., Carvalho, A. P., Anderloni, N. V., Pereira, I. C., & Silveira, A. D. (2021). Inovação sociotécnica e multinível em energia solar: análise sistemática da literatura. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, 8(1), 34-55.

## 1. Introdução

A teoria sociotécnica da inovação analisa o processo de transição nos diferentes níveis, conforme esclarece Geels (2002; 2004a e 2006). Nível micro, o nível dos nichos e atores tecnológicos, o nível meso que é relacionado à mudança do regime sociotécnico e o nível macro, que alia a mudança da tecnologia a nível global. Essa teoria ao ser aliada ao estudo do desenvolvimento de tecnologias em energia renovável, especialmente a energia solar, aborda uma ampla gama de possibilidades de entender qual a trajetória tecnológica importante e necessária para que uma inovação possa ser definida no regime dominante do mercado.

Levando em consideração as diferentes publicações e estudos nessa área de energia solar, quando esta é aliada a temática da análise multinível, permite entender todo o processo que ocorre, desde os atores envolvidos no processo, os estímulos e janelas de oportunidades que foram importantes na trajetória dessa nova tecnologia. Ou seja, entender os atores responsáveis, o ambiente em que essa tecnologia foi instituída e as influências a nível global que contribuíram para seu desenvolvimento. Assim, os diferentes artigos e estudos publicados nessa área apresentam os diferentes pontos e direcionamentos do regime vigente que são impulsionadores dessa forma de geração renovável de energia.

Assim, o objetivo desse artigo foi analisar os artigos publicados em periódicos relevantes para a área acadêmica, das bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), Directory of Open Access Journals e Science Direct, com a temática da inovação sociotécnica e multinível para o estudo da energia solar. Os artigos selecionados foram analisados identificando principalmente os autores, ano de publicação, conceitos e pilares da inovação energética sustentável, além de metodologias utilizadas nos estudos e os objetivos e ideias centrais de cada pesquisa. Essa pesquisa permite entender o que está sendo publicado nessa área e suas principais lacunas, podendo auxiliar para futuras pesquisas.

## 2. Metodologia

O presente artigo trata-se de um estudo de caráter bibliográfico, realizado mediante revisão e análise sistemática de literatura a respeito da abordagem multinível dos sistemas de inovação no âmbito energético e transição sociotécnica, apresentando desde os objetivos aos resultados e as recomendações do portfólio final de artigos selecionados.

Segundo Sampaio e Mancini (2007), a revisão sistemática de literatura configura-se como pesquisa a partir da utilização de fonte de dados literários sobre determinado tema. Além disso, a análise dos referidos dados é realizada mediante a aplicação de técnicas de busca sistematizada, viabilizando um resumo de evidências, apreciação crítica e síntese de informações pré-definidas.

A seleção da literatura analisada foi determinada por meio de periódicos internacionais, publicados sem levar em consideração recorte temporal, isto é, todos os anos foram considerados nas buscas. Na área de busca definida, obtiveram um total de 94 periódicos. A seleção dos periódicos foi realizada através da busca de artigos nas plataformas de pesquisa eletrônica Scientific Electronic Library Online (SciELO), Directory of Open Access Journals e Science Direct, por meio das palavras-chave “energia solar”, “inovação sociotécnica” e “análise multinível”.

Para investigar quais periódicos realmente abordam a temática estudada inovação sociotécnica voltada à energia renovável, com enfoque em energia solar, inicialmente foi realizada a leitura de 94 artigos encontrados na busca sistemática, abordados em diferentes

periódicos. Com o intuito de refinar a amostra, deste total, foram obtidos 46 artigos que debatem primordialmente acerca do tema proposto. Os critérios de exclusão foram, a saber, os estudos que não consideraram inovação relacionada às energias renováveis como tema central e/ou não apresentaram evidências. Em seguida, com os artigos selecionados, as abordagens foram distinguidas individualmente e realizada análise sistemática dos mesmos na obtenção de considerações e argumentos teóricos sobre o assunto.

Deste modo, notou-se que 58,7% dos artigos foram mencionados pelos periódicos “Energy Policy”, “Journal of Cleaner Production” e “Energy Research & Social Science”. Os outros 19 artigos restantes foram abordados por outros 13 diferentes periódicos, conforme mostrado pela Figura 1.

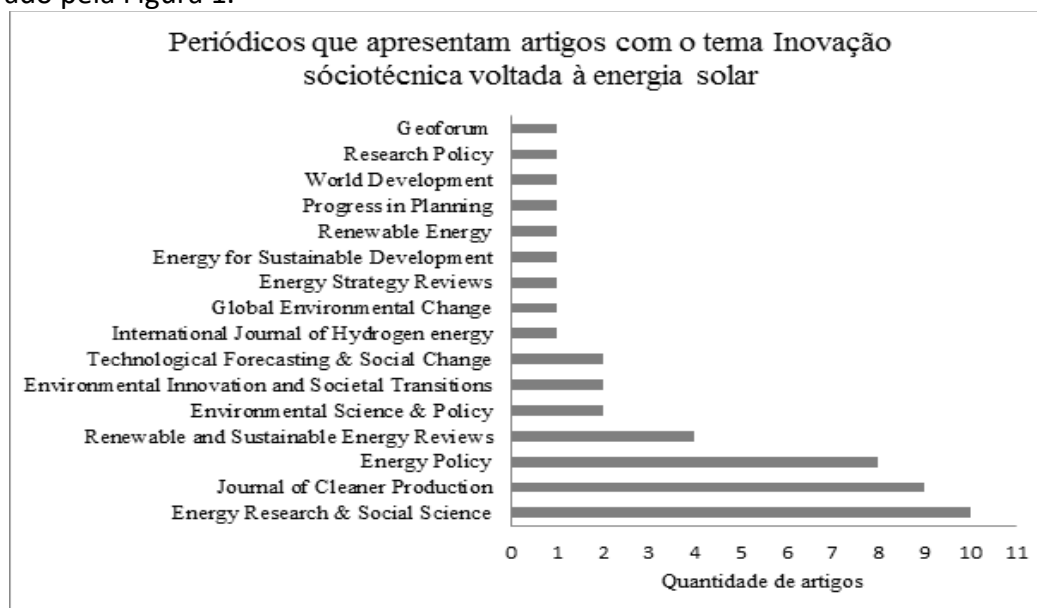


Figura 1: Periódicos que Abordam o Tema “Inovação sociotécnica voltada à energia renovável”.

## 2.1 Referencial teórico

A perspectiva multinível tem como objetivo analisar e discutir as mudanças tecnológicas através de três níveis: o nível micro, meso e macro. Dá-se início com a pesquisa, criação e ideias nível micro, sucede com a legitimação de regras em uma determinada população no nível meso e, por fim, no nível macro, lida com a possível inflexibilidade de um determinado dado sistema já implantado (Dopfer, 2005). Seu principal foco de abordagem está na interação desses três níveis, a ação e seu papel na pesquisa de caminhos de transição sociotécnica (Lopolito, Morone e Sisto, 2011).

As transições poderão ocorrer por meio de interações entre processos desses três níveis: (a) nicho, nível que constroem impulso interno, e através de processos de aprendizagem, erros e acertos de preços e desempenho, além do apoio de grupos poderosos; (b) criação de pressão sobre o regime e (c) a desestabilização do regime, onde haverá a competição do nicho com os regimes já consolidados (Geels e Schot, 2007).

Caso a inovação surgida através dos nichos substituir a tecnologia existente, isso será seguido de mudanças sociais, culturais, políticas e de infraestrutura tornando-a mais ampla (Geels, 2007). A figura 2 mostra a padronização da dinâmica. As setas para baixo indicam o nível de nicho, apontando para todos os lados por ser uma ideia ainda não consolidada.

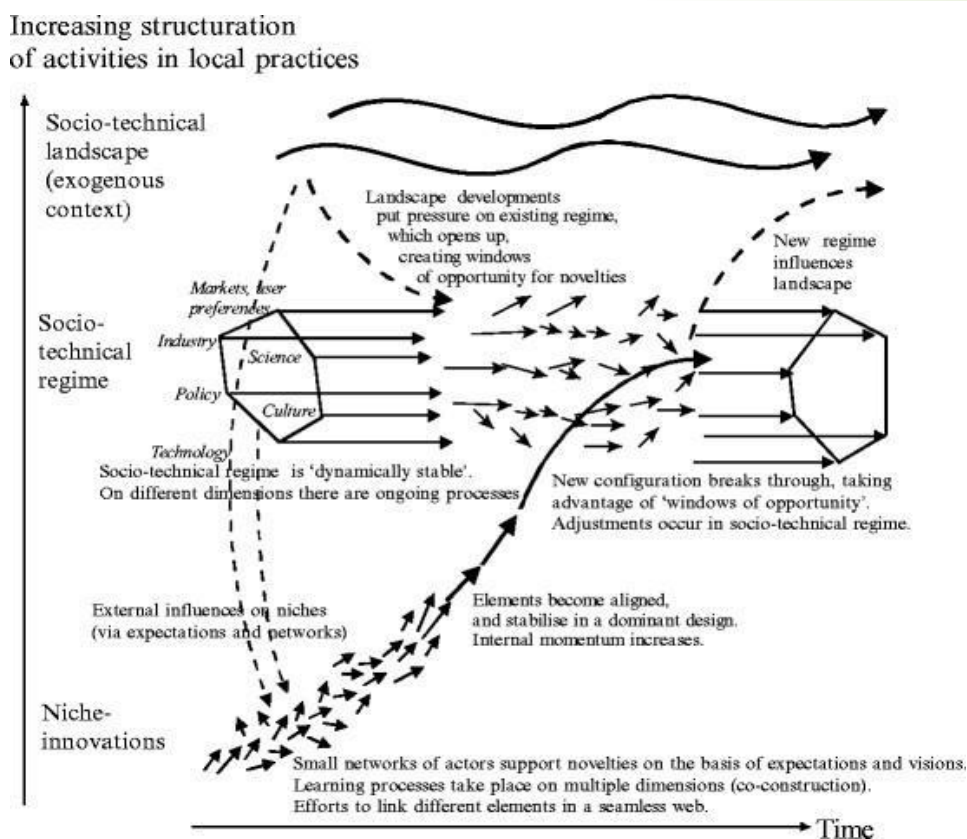


Figura 2: Multi-level perspective on transitions

Fonte: adapted from Geels, 2002, p. 1263.

O nível micro, é definido em termos de indivíduos e se propagam as ideias e inovações para as mudanças dentro de uma determinada área. Os atores de redes contingentes trabalham com ideias radicais, entretanto, suas inovações não são estáveis, então os esforços seguem todos os tipos de direções, além disso, não há garantia de sucesso por mais que o nicho possa parecer favorável. (Geels, 2002). Neste nível, os indivíduos resolvem problemas e tomam as decisões baseadas em regras já cativadas.

A inércia comportamental referente a atos rotineiros pode causar uma demora ou até mesmo um bloqueio em determinados nichos tecnológicos, diminuindo ou impedindo a velocidade das transições, o que pode ocasionar determinadas barreiras à mudanças no nível posterior, o regime meso (Safarzyńska, Frenken e Van den Berch, 2012). Por outro lado, os nichos podem ganhar força quando as expectativas se tornam mais aceitas e concretas, se houver um “design dominante” ou seja, um alinhamento de diversos processos isso pode gerar uma configuração estável além disso, a participação de atores poderosos pode influenciar para a inovação de nicho como por exemplo, o auxílio de recursos (Geels, 2011).

No âmbito de um processo evolutivo, o termo meso, é utilizado como o regime dominante que já ultrapassou os limites do nível micro, ou seja, o regime meso está situado entre o intervalo micro e macro. O conceito de economia organizada experimentalmente, somente é aplicado, a partir de uma perspectiva meso, pois no que diz respeito à organização de regras a nível de indivíduo, o regime micro tem um maior conhecimento, já com relação às estruturas populacionais a nível de sociedade, o regime macro tem maior compreensão, assim como o regime meso possui afinidade com os processos econômicos evolutivos, e com a dinâmica genérica, denominada trajetória meso (Dopfer, Foster e Potts, 2004).

A trajetória meso, de modo geral, é o resultado de dois processos simultâneos, primeiro são processos microscópicos que se refere, a nível dos indivíduos. O mesmo divide-se em três fases:

- 1- Criação de regras que envolvem a exploração de diferentes ordens pelos indivíduos, informadas pela criatividade e imaginação;
- 2- Adoção de regras (seleção);
- 3- Retenção de diretrizes, durante as quais a ativação recorrente de regras pode se manifestar em hábitos, rotinas ou regulamentos formais.

Já a segunda trajetória meso, refere-se aos processos macroscópicos, onde se propagam as dinâmicas de ordem em um determinado ambiente externo. Esta divide-se em:

- 1- Na micro-fase é estabelecida uma nova regra que tem por objetivo perturbar as relações já consolidadas e predominantes no nível macro;
- 2- A nova restrição difunde-se na população, onde é necessário novas relações estruturais, juntamente com processos contínuos de reestruturação e organização.
- 3- E por fim, o processo de reorganização é na macro-fase final. Nessa circunstância o nível meso medeia entre a micro e macro fase (Safarzynska, Frenken e Van den Berch, 2012).

E por fim a nível macro, onde as mudanças neste nível ocorrem lentamente, em um ambiente externo sofrendo diretamente a influência de atores de nichos (Schot e Geels, 2008). Esse nível é formado por agentes concretos, e em sociedade se trata do endurecimento e a formação de pano de fundo da ação humana, obtendo como resultado o crescimento econômico. (Geels, 2006).

Para uma melhor compreensão sobre as transições de um sistema para outro, as interações de um nível com os demais níveis devem ser cruciais (Geels, 2004). A transição sociotécnica só ocorrerá se houver uma determinada pressão da paisagem sobre o regime, ocorrendo uma desestabilização e elaborando uma oportunidade para a transição ocorrer (Lopolito, Morone e Sisto, 2011).

### 3. Resultado e Discussões

#### 3.1 Nível Micro

A teoria da análise sociotécnica é baseada em uma perspectiva múltipla compreendida entre os níveis micro, meso e macro. De acordo com Geels (2013), crises que ocorrem no nível macro demandam novas soluções que atenderão as necessidades do mercado. O nível micro, também conhecido como “nicho”, é onde o processo de pesquisa e elaboração das inovações é realizado. Segundo estudos de Andersen e Markard (2019) a dinâmica de nicho na elaboração de novas tecnologias compreende o aprendizado, incorporação institucional, formação de redes e atendimento das necessidades sociais. O nicho atende as demandas do nível macro (sociedade) fornecendo novos produtos que vão atender as novas necessidades sociais. Gross et al. (2018) e Carstens e da Cunha (2019) abordam que o nicho ainda serve como um nível de proteção para as inovações criadas, pois elas permanecem nesse nível enquanto não for o momento correto da difusão no mercado através de mudanças culturais, legais e sociais. Para Bradshaw e Januzzi (apud Kemp et al., 1998; Schot and Geels, 2008), os "nichos" têm um papel importante na aprendizagem e mudança tecnológica pois o principal objetivo do nível micro é permitir que os atores experimentem e formem expectativas sobre novas tecnologias.

Com o crescente aumento populacional no mundo, a demanda energética tem crescido bastante e é necessário investirmos em novas formas de fornecimento energético



baseados na sustentabilidade. Barido et al. (2020) aponta que as inovações de nicho são responsáveis pela descarbonização da energia em razão da produção de tecnologias disruptivas apoiadas pelos novos ideais sustentáveis. Alassi et al. (2019) afirma que é previsto que a geração de energia elétrica por fontes renováveis deverá ser próxima de 51% da geração total até 2040. Balta-Ozkan et al. (2015) também aborda que a geração de energias sustentáveis é o caminho a ser trilhado e ainda afirma que o preço da energia elétrica no atual modelo tem gerado custos altos aos países que ainda não migraram para modelos energéticos sustentáveis. Através de estudos e pesquisas desenvolvidas em diversos países do mundo, o nível micro, incentivado por governos, livre iniciativa, academia, conseguiu promover fontes sustentáveis de energia, incluindo a fotovoltaica, ao redor do mundo.

Cloke et al. (apud M. Lehtonen, e F. Kern, 2009) chamam a atenção para a importância dessa interação de atores que visa o incentivo de inovações energéticas no nível micro ao afirmarem que o conceito de transições sociotécnicas do nicho deve ser exercido dentro do contexto de um espaço relativamente protegido no nível da comunidade, onde atores do projeto e da comunidade podem desenvolver e cultivar coletivamente novas formas de energia. Clausen e Fichter (2019) fortifica esse conceito ao demonstrar que na Alemanha o nicho além de ser composto pelas empresas inovadoras, também é representado pela população civil em razão da cultura social sustentável que influenciou a população alemã através de inovações empresariais. Korjonen-Kuusipuro et al. (2016) reforça esse argumento ao afirmar que organizações e indivíduos raramente inovam sozinhos e são cada vez mais dependentes nas redes de inovação. Klein e Coffey (2016) opinam nesse sentido ao afirmarem que projetos de energia elaborados pela própria comunidade podem apoiar a difusão das novas ferramentas na sociedade.

Essa interação pode ser vista na América Latina, especificamente no Peru, onde foi criado o Fundo de Inclusão Social Energético para solucionar os problemas de energia desse país. Esse fundo fomenta a pesquisa e é amparado pelo governo peruano, iniciativa privada e população, todos em busca de inovações energéticas. Segundo Banal-Estañol et al. (2017), o FISE busca expandir a cobertura energética em todo o país, desenvolver mecanismos de compensação para consumidores residenciais e promover tecnologias renováveis, incluindo painéis solares, para geração de eletricidade. A interação de sociedade com governo e livre iniciativa é muito importante para a geração de novos produtos que atenderão o mercado.

O engajamento da iniciativa privada para inserção de novos produtos sustentáveis no mercado é fator determinante para a quebra de paradigmas. Segundo estudos de Saether et al. (2011), ficou demonstrado que a inovação dos sistemas energéticos renováveis da Noruega evoluíram em parte como um processo auto-organizado entre indústria e academias do conhecimento. O estudo demonstra que as indústrias que utilizam recursos sustentáveis, como energia fotovoltaica, em algum momento de seu ciclo de vida trocaram a “zona de conforto” para o investimento em novas tecnologias pautadas na inovação. Hoje a indústria fotovoltaica norueguesa é modelo para indústrias de outros países. Cooke (2011) agrega essas ideias ao afirmar que a abordagem sociotécnica indica que as inovações de nicho emergem em um mercado competitivo que demanda de inovações.

Como acontece na indústria fotovoltaica norueguesa, o uso da energia solar pode ser replicado por vários organismos multinacionais com influência internacional. Com isso as barreiras culturais, sociais, políticas e econômicas de vários países podem ser quebradas pela ação da inovação desses entes. De acordo com as ideias de Bauer et al. (2019), a ruptura com a lógica do regime é um dos principais pontos de alavancagem para permitir uma transição sociotécnica. A quebra de barreiras nem sempre é fácil, pois muitas vezes o uso de algum

recurso poluente já está enraizado na cultura de determinadas indústrias. A indústria química historicamente se estabeleceu com a produção de corantes a base de carvão, incentivando a exploração de carvão em demasia. Porém, mudanças sustentáveis praticadas em uma subsidiária de uma multinacional química localizada na Suécia influenciou mudanças de comportamento na sociedade sueca e inspirou que outras subsidiárias da mesma multinacional adotassem essas medidas em outros países, demonstrando a importância da livre iniciativa nos processos de inovação. Segundo Geels (2018) e Berkhout et al. (2010) a inovação que ocorre dentro das empresas gera aprendizado também para o público consumidor, instituições legais e financeiras, entre outras figuras sociais.

A política ativa do Estado também é de extrema importância para que as iniciativas sustentáveis sociais e empresariais possam surtir efeito. De nada adianta serem propostas mudanças se um ente político responsável pelo direcionamento social reprovar as inovações sustentáveis e persistir no uso de condutas poluentes e destrutivas. Hillman e Sandén (2008), Akizu et al. (2017), Quist e Tukker (2013), Power et al. (2016), Johnson e Silveira (2014), Osunmuyiwa e Kalfagianni (2017) abordam a participação do governo na elaboração de políticas públicas que viabilizam a criação de energias sustentáveis e afirmam que as constantes pressões sociais fazem que os governos busquem, juntamente com a academia e iniciativa privada, novas formas de fornecimento de energia que atendam aos novos anseios sociais. Carstens e da Cunha (2019) ressaltam a importância do Estado como figura do setor energético ao afirmarem que esse setor no Brasil é caracterizado pela forte presença estatal na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para a população. Ainda no Brasil, especificamente no estado de Pernambuco, o governo atuou positivamente para o desenvolvimento de fontes sustentáveis de energia associada a Universidade Federal e ao fornecimento de feedback para políticas energéticas nacionais (Bradshaw e Januzzi, 2019).

Ainda nesse sentido, o estado de São Paulo (Brasil) experimentou a introdução de aquecimento solar nos sistemas de água nas habitações sociais; e, na Alemanha, de acordo com Frank et al. (2018), regulamentos municipais criam regras juridicamente vinculativas para procedimentos de aprovação e planos de uso da terra para parques de energia solar. Segundo Kivimaa et al. (2017), as transições societárias importantes exigem mudanças relacionadas à política que engloba a governança. Delina (2018), destaca a influência positiva da mudança de postura de diversos governos destacando a geração do Acordo de Paris sobre mudanças climáticas, que apela para uma transição energética por níveis, ocorrendo do local ao subnacional, do nacional ao internacional.

A academia também exerce papel crucial para o desenvolvimento de cultura e novas tecnologias sustentáveis no “nicho”. Segundo uma pesquisa realizada por Ntona et. al (2015) a educação pautada em conceitos sustentáveis está cada vez mais presente nas atuais gerações ao redor do mundo. A abertura de portas para a sustentabilidade influencia os estudantes a seguirem carreira científica para elaborarem novas tecnológicas baseadas em conceitos sustentáveis que modificarão a sociedade através de novos comportamentos sociais. Foi na pesquisa que surgiu a inovação energética fotovoltaica, através da necessidade social de obtenção de formas “limpas” e econômicas de energia. Ling-Zhi et al. (2018), Padmanathan et al. (2019), Sovacool (2016), Riva et al. (2018), Rizzi et al. (2014), De Prá Carvalho et al. (2019), Hossain et al. (2016), Baloch et al. (2019), Zisopoulou et al. (2018), Bhatt e Singh (2019) abordam em seus trabalhos sobre a grande contribuição social que a academia e pesquisadores tem realizado com as inovações energéticas, inclusive a modalidade fotovoltaica, cada vez mais presente em diversas nações. Essa tecnologia já está modificando mercados, leis, estruturas e culturas sociais. Para Araújo (apud GEELS, 2005, p. 681-96), as



tecnologias disruptivas co-evoluem com mudanças nos mercados, regulamentos, infraestrutura, práticas do usuário, indústrias, cultura e compreensão científica.

Para a pesquisa ser desenvolvida, além dos estudos, há necessidade dos projetos se adaptarem aos anseios sociais e quebrarem as políticas atuais. Para Stilgoe et al. (2013), a ciência tem sido convencionalmente invocada pela política como emancipatória e isso permitiu a cientistas e inovadores uma considerável liberdade de responsabilidade política. A partir do momento que os estudos acadêmicos e científico induzem a livre iniciativa e o Estado a mudarem seus comportamentos, como por exemplo a inclusão da sustentabilidade em suas gestões, o tripé formado por esses atores consegue de maneira eficaz elaborar inovações no “nicho” que atenderão as novas demandas sociais.

### 3.2 Nível Meso e janelas de oportunidades

A teoria sociotécnica analisa o processo de transição nos diferentes níveis, conforme esclarece Geels (2002; 2004a e 2006). Nesse sentido, o nível meso é relacionado à mudança do regime sociotécnico e ao ambiente em que as organizações e atores estão inseridos, os quais interferem no desenvolvimento de tecnologias voltadas para o uso de energia solar. Assim, os artigos analisados puderam apresentar os diferentes pontos e direcionamentos do regime vigente que são impulsionadores dessa forma de geração renovável de energia.

Tendo em vista a abordagem sociotécnica, buscou-se com a análise do nível meso, entender como as diferentes forças da coevolução influenciam o ambiente técnico e social. Isso porque a energia solar requer mudanças no regime, que influenciarão na transição para que essa nova forma de tecnologia seja dominante.

De forma geral, nota-se como a energia solar, conforme os artigos analisados, ainda não faz parte do regime dominante, apesar de possuir avanços significativos, como leis ou diretrizes, ainda assim requer maiores mudanças. Muitas são as pontuações do regime sociotécnico vigente que direcionam para esse entendimento, sendo os principais, as ampliações do entendimento cultural, ambiental e político da importância da preservação ambiental e o uso de energias renováveis.

Os autores Estañol, Calzada e Jordana (2017), discutem sobre como as mudanças climáticas ocasionadas pelo uso elevado de combustíveis fósseis, a necessidade de preservação do meio ambiente incentivam o uso da energia solar no regime. Ainda segundo os autores, algumas janelas de oportunidades para a disseminação da energia solar estão diretamente ligadas à ambientes rurais devido a inexistência de barreiras arquitetônicas. Os campos acabam recebendo diretamente a luz solar e, portanto, a instalação de painéis fotovoltaicos tem uma maior eficiência, captação e distribuição de energia. Nesse mesmo sentido Araújo (2014), cita regulamentos que determinam a forma com que essa tecnologia inovadora vai ser inserida no mercado atual, também impulsionados pelo intuito de promover uma sociedade mais sustentável.

Com a necessidade de vários países diminuírem o impacto ambiental Alassi et al. (2019), chama a atenção para essa janela de oportunidade, salientando para a eficácia e a integração entre os países para controle de desperdício de energia. Assim, havendo um aproveitamento considerável de energia renovável. Um continente referido pelo autor com a facilidade para a concretização da energia solar é o Continente Africano. Devido suas condições climáticas e posição geográfica, podendo suprir sua necessidade e a demanda de outros locais em energia. Ainda referente ao continente mencionado, Riva et al. (2018), expõe os benefícios dessa fonte de energia para famílias rurais, que obtiveram melhorias na saúde desde que foi estabelecida a energia elétrica na Namíbia. Outro exemplo abordado pelo autor

é o Quênia, local em que crianças em residências com o sistema fotovoltaico, tem mais acesso a luz elétrica para estudar. Já no distrito indiano, em Dahod houve uma melhoria na economia referente aos custos de energia. Além da África e Índia, o Brasil também é citado, como um país com a posição geográfica favorável e um clima propício para o desenvolvimento de energia solar, pois o país apresenta alta incidência de raios solares durante o ano todo (Cartens e Kindl, 2019). Esse ponto demonstra como a questão geográfica também influencia o regime dominante.

O que é citado pelos autores dos artigos e que auxilia na mudança do regime para a adoção de energias renováveis são políticas de incentivo entre diferentes países. Balta-Ozkan, Watson e Mocca (2015), explanam sobre a difusão da energia solar em residências pela fácil instalação e adaptação, outro ponto levado em consideração pelos autores é a baixa emissão de carbono para a atmosfera. Essas políticas públicas também em parceria com as universidades também são consideradas significativas para a mudança do regime sociotécnico, Frank (2018), complementa sobre a importância de haver incentivos para novos produtos inovadores a nível mundial, para que haja a transição de novas fontes energéticas. Além do mais Andersen e Markard (2020), ponderam que o uso de energias renováveis abre novas oportunidades para o desenvolvimento e criação de tecnologias mais eficientes e sustentáveis como por exemplo, armazenamento distribuído (baterias estacionárias e veículos elétricos). Outro teste já realizado, foi a implementação de painéis solares em redes de linhas telefônicas (Gross et al., 2018).

Existem alguns elementos fundamentais para que os grandes líderes consigam administrar um país, com o objetivo de aumentar a eficiência deve-se controlar os custos e moderar em despesas com intenção de gerar uma boa economia. Para Never e Betz (2014), o crescimento econômico está ligado a gestão climática. Padmanathan (2019), propõe uma análise sobre o compromisso atual da Índia para melhorar sua economia, evidenciando que a mesma está relacionada entre, a mudança do nível político e a aceleração do uso de energias renováveis. Além do mais, levanta a importância de haver controles sobre os gastos com energia e o impacto social gerado por mudanças no fornecimento para a população, como: consumo, produção, trabalho e impressão. Por fim, buscam por iniciativas para uma transição rumo a um sistema energético com baixo teor de carbono (Akizu et al. 2017; Bhatt e Singh, 2020).

Um ponto importante a ser levado em consideração de acordo com Oliveira et al. (2013), é a economia verde, no qual prioriza o desenvolvimento em transportes, gerenciamento urbano, edifícios, gerenciamento de água e bem estar. Já Saether, Isaksen e Karlsen (2011), constata que para a melhoria na economia do país será necessário a disseminação de conhecimento para o mundo através da utilização de energia renovável por meio de políticas governamentais. Nesse sentido, Dopfer, Foster e Potts (2004) apresentam a mesoeconomia, como uma área importante para entender o desenvolvimento da energia solar no nível meso, por estudar as análises econômicas durante o estado evolutivo, descrever o que está mudando durante um nicho, ou analisar empecilhos, gatilhos e incentivos para a consolidação do nicho, além de promover a mudança

Além disso, Rizzi, van Erk e Frey (2014) indicam a possibilidade de políticas e indústrias para impulsionar e instigar a competição pela criação de novos nichos de mercado, como por exemplo, a energia solar orgânica, sendo esta uma janela de oportunidade para um novo nicho de desenvolvimento. Conforme Baloch et al. (2019), uma oportunidade de avaliação econômica para qualquer decisão tomada pelo governo, requer impostos para atrair investimentos sobre o nicho, logo, uma alternativa para a consolidação de energias renováveis

no regime meso é o reembolso dos investidores. E, nesse sentido, Osunmuyiwa e Kalfagianni (2017), mostram que os investimentos de empresas privadas podem ajudar no crescimento da economia.

É sabido que nos dias atuais existe uma demanda nacional e global em produzir eletricidade gerando um menor impacto ambiental, dos Santos Carstens e da Cunha (2019), relatam a importância das ações políticas governamentais que envolvem o setor privado, bancos, instituições e agências, em desenvolver o crescimento dessa fonte de energia. Demonstram como exemplo o Brasil, onde encontram-se grandes reservas de silício, no qual é um material indispensável na produção de energia solar, além do país possuir uma grande área de incidência de sol. Assim, Geels (2018), evidencia que a cooperação entre empresas já fixadas no mercado atual e empresas emergentes, que visualizaram oportunidades de atuação em produtos que consigam inovar ou modificar o mercado atual e o comportamento social. Um exemplo mencionado por Carvalho, Silveira e da Cunha (2020), foi a parceria com a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) como uma concessionária de energia. Outro exemplo exteriorizado por Power et al. (2016), foi a iniciativa privada para o setor de eletricidade em Moçambique e África do Sul principalmente em energia eólica, energia solar fotovoltaica e energia solar concentrada.

O engajamento social pode impulsionar a concretização desta energia em diversos países, como menciona Delina (2018), que enfoca o estado não democrático da Tailândia e a busca por alternativas mais econômicas e sustentáveis através de culturas e grupos sociais para o uso desta energia sustentável. Um ponto levantado foi o investimento de painéis solares para que ao invés da população ser apenas consumidora, ela possa se tornar produtora de sua própria energia (Klein e Coffey 2016; Korjonen-Kuusipuro et al. 2017).

Segundo Schaub, Ortiz e Recalde (2018), a pobreza energética e o custo elevado mostram grandes problemas em regiões menos favorecidas como, instituições públicas nas áreas rurais, clínicas e escolas. Isso traz a tona uma possibilidade para a disseminação de energia renovável. Para exemplificar, Cloke, Mohr e Brown (2017), relatam programas de disseminação de energia solar em comunidades carentes e incentivam o Hemisfério Sul a utilizar a energia solar, pois a uma alta incidência de raios solares durante um longo período do ano. Por fim, Clausen e Fichter (2019), indagam sobre a principal janela de oportunidade, no qual seria a conscientização social e o investimento de políticas de incentivo para a consolidação e uso de energias sustentáveis.

Alguns problemas referentes às energias renováveis foram identificados por autores, como mostra Hossain et al. (2016), no qual direciona sua discussão para os elevados custos e disponibilidade de recursos naturais, como por exemplo: a energia eólica, hídrica e solar, pois nem sempre estão disponíveis em todos os lugares necessários. Neste segmento, Hillman e Sandén (2008), também constatam que regime atual não abrange a totalidade acerca das questões de sustentabilidade, demonstrando adversidades relacionadas à qualidade do ar, mudanças climáticas e escassez de petróleo desencadeadas pela busca por combustíveis para transportes alternativos. Os autores ainda levantam a necessidade de novas fontes de energia para ampliar o avanço ecológico e possibilitar a adaptação das demandas existentes. Outro contratempo identificado pelo autor Huber (2008), são as regulamentações ambientais existente em países ainda em desenvolvimento no qual, não são capazes de adotar a possibilidade de inovações devido a alta demanda que a sociedade apresenta.

As políticas que incentivaram o desenvolvimento e regulamentação da energia solar, estão ligados a ideologias de preservação ambiental, aumento populacional, instigações por parte de professores, pesquisadores e criações de leis favoráveis para o uso de energia

renovável (de Leon Barido, Avila e Kammen, 2020; Ntona, Arabatzis e Kyriakopoulos, 2015; Stilgoe, Owen e Macnaghten, 2013). Um país pioneiro sobre o uso de combustíveis renováveis, segundo Bauer e Fuenfschilling (2019), foi na Suécia, no qual o governo incentivou o uso de energias oriundas de fontes renováveis e criou leis para empresas sobre o uso obrigatório de recursos renováveis. Em termos oficiais, a DIRETIVA 2009/28/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 23 de abril de 2009, relata a obrigatoriedade do uso de energias renováveis.

Outros países como a China, Alemanha, Itália e Estados Unidos também estão investindo em energias renováveis. O governo chinês investiu em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias para apoiar o setor de energia (Ling-zhi et al. 2018; Berkhout et al. 2010). Já Cooke (2011), relata que a alta incidência de raios solares em lugares como Thüringen na Alemanha, Rhone-Alpes na França e o Vale do Silício nos Estados Unidos da América, no qual favorece a utilização de painéis solares. Além disso, Geels (2013), menciona que os governos da Alemanha e Itália incentivam a instalação de painéis solares em residências através de subsídios, em uma alternativa de energia de fácil adaptação em residências. Para Sovacool (2016) os investimentos por parte do governo são de extrema importância para estimular o uso de fontes renováveis, e além disso leva essa discussão a nível global.

Alguns países podem encontrar diferentes motivos para a coevolução para um novo regime dominante em energias renováveis, Bradshaw e Jannuzzi (2019), demonstram um exemplo no estado de São Paulo- Brasil no qual, revelam a forte dependência de energia provinda de hidrelétricas e a preocupação com locais afastados durante o período de secas severas no estado. Entretanto, Kivimaa et al. (2017), aponta um novo nicho para que seja possível a transição no mercado atual. O estado de São Paulo implementou a tecnologia de painéis solares em casas populares para suprir a necessidade de energia. Essa estratégia surgiu oriunda de uma demanda local e está sendo testada para a população do estado.

Com o levantamento bibliográfico, visualiza-se como alguns autores alegam janelas de oportunidades para a disseminação de energia renovável como por exemplo, Keppler (2018) que propõe que a energia solar pode ser usada como potências operacionais em lugares onde há temperaturas relativamente baixas. E Yuan, Xu e Hu (2012), apontam como a energia solar é a próxima tecnologia promissora para abastecimento energético, além disso, explanam a necessidade de apoio do governo e patrocinadores, como o impulsionador para essa coevolução.

### 3.3 Nível Macro

A demanda de novas tecnologias capazes de mudar os paradigmas sociais surge no nível macro de acordo com as novas necessidades sociais. Para a melhor condução dessas mudanças é importante que as políticas governamentais estejam em sintonia com as vontades sociais. Saether et al. (2011) explica que as inovações sustentáveis geradas nos sistemas energéticos são ligadas à soberania dos países sobre os recursos naturais e ao poder político que garante novos valores culturais sustentáveis na sociedade visando a inovação. Barido et al. (2020) aponta que existe um amplo consenso de que políticas, tecnologias e objetivos de longo prazo são os mecanismos preferidos para permitir transições energéticas sustentáveis. Para Frank et al. (apud Van Staden, 2014) os desafios econômicos e tecnológicos na substituição da energia convencional pelos sistemas renováveis são conduzidos por políticas e atividades de inovação.

As inovações sustentáveis são requisitadas e realizadas em diversas frentes sociais. Segundo Cooke (2011), a ecoinovação é uma média das atividades relacionadas à produção de alimentos, informações tecnológicas, geração e transmissão de energia, construção civil, “fabricação verde” e tratamento de água. As inovações atendem o comportamento das pessoas de acordo com o grau de engajamento cultural que determinada sociedade possui para aplicar uma transição sociotécnica. Korjonen Kuusipuro et al. (2016) afirma que cientistas sociais têm argumentado repetidamente que a pesquisa energética precisa de uma perspectiva recíproca mais ampla que inclua o estudo de seres humanos como membros de sua cultura e como indivíduos ativos. Osunmuyiwa et al. (2017) argumenta que a perspectiva multinível gera caminhos recursivos pelos quais tecnologias e mudanças políticas se materializam em relação a aspectos econômicos, ambientais, políticos e socioculturais.

A mudança de comportamento cultural capaz de gerar mudanças tecnológicas é fator decisivo para os novos rumos sociais. Clausen e Fichter (2019) afirmam que a inovação ambiental é capaz de gerar progressos significativos em direção ao objetivo do desenvolvimento sustentável, reduzindo o impacto ambiental e aumentando o uso eficiente e responsável dos recursos naturais. Balta-Ozkan et al. (apud Bridge et al, 2013) afirmam que a nova modalidade de economia pautada em conceitos sustentáveis, chamada de "economia verde", é realizada com o objetivo de reduzir o consumo de energia e melhorar a qualidade ambiental.

A aplicação de recursos energéticos econômicos e que preservem a natureza são capazes de aprimorar a qualidade de vida social. Geels (2013) afirma que muitos países ocidentais enfrentam dificuldades que demandam implementação de energias renováveis capazes de ajudar no combater a crises financeiras e problemas ambientais. Porém, segundo Hillman e Sandén (2008), alguns problemas ambientais, em particular as mudanças climáticas, não podem ser resolvidos com mudanças incrementais de tecnologias atuais, mas exigem mudanças radicais de grandes sistemas tecnológicos, como energia e transporte. Berkhout et al. (2010) afirma que alguns países emergentes com a economia em rápido crescimento estão fazendo grandes contribuições para a promoção ambiental global. Com grande necessidade de uso de recursos em um período de grande poluição ambiental, esses países procuram inovar e buscar uma evolução que agregue socialmente e ambientalmente. O caminho social para a preservação ambiental associada é evitar medidas paliativas. É necessária uma ação íntegra capaz de solucionar o problema e de modificar a cultura social positivamente através do tempo, permitindo a criação de tecnologias sustentáveis.

Com a pressão do nível macro no regime micro, algumas problemáticas locais são propícias para obter-se o desenvolvimento de nichos. A falta de energia elétrica em comunidades rurais, globalização e outras questões sociais são algumas das pressões do regime macro para suceder o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis e a consolidação de energias renováveis (Araújo, 2014; Estanõl, Calzada e Jordana, 2017). Ainda no contexto campesino, alguns autores direcionam a energia solar como uma possível solução para o fornecimento de energia elétrica em comunidades rurais (Cloke, Mohr e Brown, 2017; Carstens e da Cunha, 2019). No Paquistão o sofrimento com a falta de energia elétrica é um grande problema, Baloch et al. (2019), destaca as linhas de transmissão de baixa tensão e grandes perdas de linha. Além disso, menciona questões ambientais como: derramamento devido ao uso de combustíveis fósseis e a negligência dos formuladores de políticas de consumo de energia nas instituições governamentais.

Um problema mencionado por Gross et al. (2018) é a falta de prioridade da população em modificar sua fonte de energia, segundo o autor os produtos líderes entre consumidores



são: celulares ou Tv LCD logo, a eletricidade através de energia solar fotovoltaica não tem alta demanda, pois seus benefícios são menos imediatamente tangíveis para os consumidores. Ainda segundo o autor, ele não sugere altos investimentos em estudos referentes a energia solar devido a essa falta de demanda.

Entretanto, foi observado a importância do engajamento social para promoverem mudanças energéticas. Segundo Delina (2018), este panorama coletivo pode oportunizar um cenário favorável ao uso de painéis solares. Já Kivina et al. (2017) demonstra como as pressões sociais e ambientais são baseadas em sustentabilidade quando citado a criação de novas fontes de energia. Para exemplificar, Geels (2018), ilustra o número elevado de veículos emissores de gás carbono no qual, podem gerar um desequilíbrio ambiental e estimula a criação e inserção de veículos movidos através de combustíveis renováveis não poluentes. Contudo, Keppler (2017) relata a possível inserção de painéis solares na difusão de sistemas de refrigeração. Além disso, Stilgoe, Owen e Macnaghten (2013), sugerem o aumento de ações voltadas para a necessidade de inovação em escala global.

Um grande potencial para o avanço em estudos e implantação de energias renováveis sucede pela localização geográfica de determinados estados e países. Segundo Bradshaw e Jannuzzi (2019), o estado de Pernambuco nordeste do Brasil, tem alto potencial para a inserção de painéis solares devido a sua posição geográfica e condições climáticas. Rizzi, van Eck e Frey (2013) reforçam a importância de determinados países em adotar energias oriundas de fontes renováveis devido a suas condições e localização geográfica.

### 3.4 Principais objetivos

Os objetivos dos estudos registrados nos artigos analisados remetem a problemas pontuais de cada local, pressão de movimentos sociais, preocupação com o fornecimento de energia elétrica em comunidades afastadas dos grandes centros urbanos, economia dos países e preocupações ambientais. Dentro desses objetivos, foi possível verificar similaridades entre os trabalhos desenvolvidos, como mostra a Figura 3.

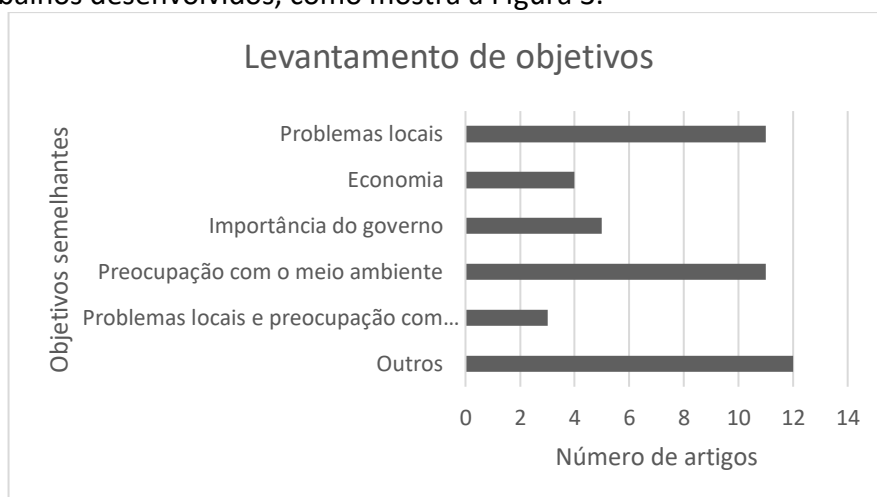


Figura 3: Objetivos identificados durante o levantamento bibliométrico.

Alguns autores como, Baloch et al. (2019). Barido, Avila e Kammen (2020). Clausen e Fichter (2019). Cloke, Mohr e Brown (2017). Delina (2018). Estanõl, Calzada e Jordana (2017). Hillman e Sandén (2008). Huber (2008). Keppler (2018). Klein e Coffey (2016). e Riva et al. (2018) buscaram em seus estudos entender a disseminação da energia renovável através de um problema local, como: o fornecimento de energia elétrica em comunidades rurais ou afastadas de grandes centros urbanos.



Um ponto identificado durante o levantamento dos trabalhos, foi a questão ambiental, segundo os autores Akizu et al. (2017). Araújo (2014). Bauer e Fuenfschilling (2019). Berkhout et al. (2010). Frank et al. (2018). Geels (2018). Kuusipuro et al. (2016). Never e Betz (2014). Ntona, Arabatzis e Kyriakopoulos (2015). Oliveira et al. (2013). Power et al. (2016). Rizzi, van Erk e Frey (2014). Schaube, Ortiz e Recalde (2018). e Yuan, Yu e Hu (2012). O principal objetivo dos estudos levou a integração entre nichos e sustentabilidade, considerando a relação entre indústrias e empresas. Além disso, uma questão benéfica apontada pelos autores é o ganho econômico na produção de cidades mais sustentáveis.

As atividades econômicas também foram encontradas como objetivos dos estudos, revelando-se como fundamentais para os grandes representantes de cada país, conforme relatam os autores como Balta- Ozkan, Watson e Mocca (2015). Geels (2013). Ling-zhi et al. (2018). e Mercure et al. (2014). Comparam a crise econômica com o desenvolvimento sustentável. Além disso, exemplificam com modelagens matemáticas de baixo custo-benefício para analisar o desempenho da economia em determinados países. Já, os autores, Bradshaw e Jannuzzi (2019). Cooke (2011). Kivimaa et al. (2017). Osunmuyiwa e Kalfagianni (2017). e Padmanathan et al. (2019). Apontam a importância no desenvolvimento de políticas sobre energias renováveis e governanças climáticas de sustentabilidade.

Para que as tecnologias se consolidem no mercado, alguns estudos objetivam entender as trajetórias e seus desafios. Assim, autores como, Alassi et al. (2019). Andersen e Markard (2020). Bhatt e Singh (2020). Bridge, Ozkaynak e Turhan (2018). Carstens e da Cunha (2019). Carvalho, Silveira e da Cunha (2019). Gross et al. (2018). Hossain et al. (2016). Quist e Tukker (2013). Saether, Isaksen e Karlsen (2011). Sovacool (2016). e Stilgoe, Owen e Macnaghten (2013). Através de edições especiais e revisão de literatura identificam a trajetória das transições energéticas e a viabilização de nichos para o desenvolvimento de energias renováveis dentro de empresas e indústrias. Além disso, a transmissão de energia elétrica e questões de investimento, infraestrutura a nível nacional e pôr fim, a relação entre poderes e interesses de cada país em adotar a energia renovável como fonte de abastecimento para a comunidade.

### 3.5 Principais resultados

Os resultados identificados nos artigos analisados evidenciam alguns pontos importantes para a construção deste trabalho como, a força do engajamento social em lugares não democratas, investimento de empresas e governos, economia verde e a notabilidade da sustentabilidade a nível local e global. Dentro desses resultados, foi possível verificar similaridades entre os trabalhos desenvolvidos, como mostra a Figura 4.



**Figura 4:** Resultados identificados durante o levantamento bibliométrico.

Como ilustrado na Figura 4 o engajamento do governo é essencial para a propagação da energia solar a nível global. Dito isso, autores como, Bradshaw e Jannuzzi (2019). Cooke (2011). Frank et al. (2018). Hillman e Sandén (2008). Huber (2008). e Kivina et al. (2017). Mencionam experiências, intervenções e respostas dos governos a respeito de mudanças climáticas e energia renovável.

Outra vertente para ajudar no crescimento da energia solar, é o investimento de empresas e setores industriais, segundo os autores Araújo (2014). e Saether, Isaksen e Karlsen (2011) mostram a evolução das indústrias depois de implantados inovações energéticas e a importância do investimento de multinacionais para contribuir com as transições de sustentabilidade.

Visto que no decorrer deste trabalho, existem vários fatores para que as novas transições sejam efetivas no mercado, a Figura 7 ilustra a integração entre “Importância do Governo” e “Investimento de Empresas” assim, Andersen e Markard (2020). Aziku et al. (2017). Barido, Avila e Kammen (2020). Berkhout (2010). Estanõl, Calzada e Jordana (2017). Never e Betz (2014). e Riva et al. (2018). Concluem maior desenvolvimento quando à integração entre esses dois fatores, incluindo as transições energéticas. Além desse conjunto de elementos, a outros fatores que contribuem para impulsionar no setor energético, como o investimento de ONG’s e projetos universitários para melhorar as condições socioeconômicas através de inovações energéticas.

Um ponto a ser levado em consideração é o engajamento social, Delina (2018). Kuusipuro et al. (2016). Ntona, Arabatzis e Kyriakopoulos (2015). e Quist e Tukker (2013). Relatam a força da população em prosperar por mudanças, e a importância do trabalho em conjunto para desenvolver inovações populares. Além disso, os autores defendem o conhecimento sobre sustentabilidade e instigam os jovens a pensar sobre o meio ambiente.

Algumas janelas de oportunidades foram identificadas pelos autores, Alassi et al. (2019). Bhatt e Singh (2020). Bauer e Fuenfschilling (2019). Clausen e Fichter (2019). Gross et al. (2018). Keppler (2017). Ling-zhi et al. (2018). Oliveira (2018). Mercure et al. (2014). Osunmuyiwa e Kalfagianni (2017). Rizzi, van Eck e Frey (2013). e Yuan, Xu e Hu (2012). Apontando fatores que auxiliam na construção de nichos como, “Relações custo-benefício favorável” e “Alta compatibilidade e confiança na inovação”. A perspectiva longitudinal na economia do país, diminuição de custos de empresas ao utilizar energias renováveis e a implantação da economia verde no governo local e global, são vantagens concretizadas pelos autores. Além disso, o tempo de cada nicho para a concretização no mercado é variável, mas

com a integração de fatores essenciais poderá haver uma aceleração em novas tecnologias para o setor energético. Um exemplo a ser seguido é o modelo matemático já desenvolvido para melhorar o desempenho na indústria solar.

Outro âmbito contemplado pelo autor Klein e Coffey (2016) é o direcionamento de energias para comunidades rurais. E segundo Carstens e da Cunha (2019) o Brasil é um país com alto potencial para promover a energia solar fotovoltaica. Além disso, Araújo (2014) relata a importância da escrita acadêmica para suceder-se o desenvolvimento e investimento em energias renováveis.

A consolidação da energia solar vem encontrando alguns empecilhos. De acordo com, Balta-Ozakan, Watson e Mocca (2015). Bridge, Baloch et al. (2019). Carvalho, Silveira e da Cunha (2020). Cloke, Mohr e Brown (2017). Geels (2013). Geels (2018). Hossain et al. (2016). Padmanathan et al. (2019). Sovacool (2016). Power et al. (2016). Schaubé, Ortiz e Recalde (2018). Stilgoe, Owen e Macnaghten (2013). Os problemas referem-se tanto ao encolhimento das janelas de oportunidades, quanto a estagnação no surgimento de novos nichos. Esse fator ocorre devido aos impactos econômicos, diferenças geográficas, desigualdades sociais, falta de maturação da rede de inteligência, entre outros. Neste sentido, constata-se que por mais que a energia renovável seja uma alternativa ainda faltam incentivos e pesquisas.

#### 4. Conclusão

A análise sociotécnica e multinível analisa uma tecnologia entendendo quem são seus atores, o ambiente e regime vigente e as influências a nível global. Ao analisar os artigos que estudam o direcionamento e utilização da inovação solar por meio dessa temática ampliou a visão sobre possíveis lacunas nesses estudos que possibilitam novos estudos e direcionadores para pesquisadores.

Os pilares da Inovação Sustentável estão diretamente interligados com a tecnologia para a inovação em energia renovável, ou seja, a inovação energética é uma abordagem que contribui para entender a relação entre sociedade, economia e meio ambiente. As discussões em muitos estudos foram ampliadas de forma a associar os pilares da sustentabilidade com o regime sociotécnico às transições energéticas de inovação e políticas de desenvolvimento, ou seja, abordaram a teoria sociotécnica e políticas de governos que incentivam o uso de energias renováveis para o alcance da sustentabilidade, além de assinalar a importância da discussão para fundamentos conceituados a novos nichos e oportunidades de mercado, dentre eles, incluindo o incentivo ao uso de energia fotovoltaica aliada ao desenvolvimento sustentável.

Os principais atores do nível micro são relatados nos estudos como sendo as universidades, as empresas privadas, o governo, órgãos do governo e iniciativas de órgãos de pesquisa na área. Esses atores estimulam o aprendizado, incorporação institucional, formação de redes e atendimento das necessidades sociais.

Uma das janelas de oportunidades mais relatadas pelos artigos é o alto custo da energia elétrica no atual modelo utilizado e a necessidade por migrar para modelos energéticos sustentáveis. Ou seja, o processo de transição tecnológica para a nova tecnologia dominante em energia solar só vai ocorrer entre os níveis micro, meso e macro a partir do momento que a inovação criada for reconhecida como necessária, viável e vantajosa para a sociedade. O nicho que possui um papel importante na aprendizagem e mudança tecnológica pois o principal objetivo do nível micro é permitir que os atores experimentem e formem expectativas sobre novas tecnologias. Essa troca de conhecimentos, experiências, aspirações

e visões promove a aprendizagem mútua e incentiva a mudança de regimes energéticos dominantes.

São os atores das Iniciativas privadas que principalmente ampliam as redes entre organismos multinacionais com influência internacional, de forma a desenvolver novas tecnologias. Com essas ações, as barreiras culturais, sociais, políticas e econômicas de vários países podem ser quebradas. A inovação que ocorre dentro das empresas gera aprendizado também para o público consumidor, instituições legais e financeiras, entre outras figuras sociais.

Os estudos também indicam que é imprescindível, pela experiência em países que avançam nessa tecnologia da energia solar, que haja a participação do governo na elaboração de políticas públicas que viabilizam a criação de energias sustentáveis e afirmam que as constantes pressões sociais fazem que os governos busquem, juntamente com a academia e iniciativa privada, novas formas de tecnologias. O Estado é um importante ator para o setor energético, pois em muitos países, é forte a presença estatal na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para a população.

Considerando o nível meso da análise multinível, observa-se que a energia solar requer ainda continuar sua trajetória de desenvolvimento, para que componha o regime dominante. O regime político e a instituição de normas e regulamentos são os fatores que mais geram janelas de oportunidade para o desenvolvimento da tecnologia em energia solar, principalmente aliada ao fator da geração de economia, nos quais os países buscam um crescimento econômico aliado à gestão Climática. Por isso, o governo demonstra ter um forte papel nessa trajetória.

A questão do regime cultural, demonstrou que há o entendimento da importância de medidas sustentáveis e de formas de geração de energia limpa, justamente aliados ao regime geográfico, em regiões que possuem grande influência da agricultura ou grande incidência solar, os quais geram mais oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias aliadas a energia solar, com o uso de painéis fotovoltaicos. Nesse ponto, entendeu-se também que as universidades e parcerias foram estratégicas para esse crescimento em termos de pesquisas na área.

A dinâmica que leva a inovação em energia solar, possui grande influência do nível macro, no qual percebe-se como amplia-se as análises e consciência sobre a importância das inovações sustentáveis que são requisitadas e realizadas em diversas frentes sociais. Aliado a essa visão da importância da inovação sustentável, levantam-se argumentos sobre a pesquisa energética em uma perspectiva recíproca mais ampla que inclua o estudo de seres humanos como membros de sua cultura e como indivíduos ativos.

Além desses pontos, o nível macro, conforme análise dos artigos, ressalta que há um enfrentamento geral de dificuldades a nível global que demandam implementação de energias renováveis capazes de ajudar no combater a crises financeiras e problemas ambientais

Assim, os estudos sobre a abordagem multinível aliada às inovações em energia renovável relevam a importância dos sistemas de inovação e das tecnologias sustentáveis por estarem diretamente ligadas às necessidades e ao conhecimento global. Essas tecnologias podem remodelar os sistemas sociotécnicos emergentes e ampliar o desenvolvimento de novas tecnologias em muitos países que possuem visão a longo prazo. Revelou-se assim lacunas de pesquisa que direcionam cada vez mais para entender a dinâmica da transição para a sustentabilidade no que diz respeito a utilização de inovação em energias renováveis.

## Referências

- Akizu, O., Urkidi, L., Bueno, G., Lago, R., Barcena, I., Mantxo, M., ... & Lopez-Guede, J. M. (2017). **Tracing the emerging energy transitions in the Global North and the Global South.** *international journal of hydrogen energy*, 42(28), 18045-18063.
- Alassi, A., Bañales, S., Ellabban, O., Adam, G., & MacIver, C. (2019). **Transmissão HVDC: revisão de tecnologia, tendências de mercado e perspectivas futuras.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 530-554.
- Andersen, AD; e Markard, J. (2020). **Interação multitecnologia em transições sociotécnicas: Como a dinâmica recente da tecnologia HVDC pode informar as teorias de transição.** *Previsão tecnológica e mudança social*, 151, 119802.
- Araújo, K. (2014). **The emerging field of energy transitions: progress, challenges, and opportunities.** *Energy Research & Social Science*, 1, 112-121.
- Balta-Ozkan, N., Watson, T., & Mocca, E. (2015). **Spatially uneven development and low carbon transitions: Insights from urban and regional planning.** *Energy Policy*, 85, 500-510.
- Baloch, M. H., Chauhdary, S. T., Ishak, D., Kaloi, G. S., Nadeem, M. H., Wattoo, W. A., ... & Hamid, H. T. (2019). **Hybrid energy sources status of Pakistan: An optimal technical proposal to solve the power crises issues.** *Energy Strategy Reviews*, 24, 132-153.
- Banal-Esteñol, A., Calzada, J. & Jordana, J. (2017). **Como obter eletrificação completa: lições da América Latina.** *Política energética*, 108, 55-69.
- Bauer, F., & Fuenfschilling, L. (2019). **Iniciativas locais e regimes globais - Dinâmica de transição multi-escalar na indústria química.** *Jornal de produção mais limpa*, 216, 172-183.
- Berkhout, F., Verbong, G., Wieczorek, A. J., Raven, R., Lebel, L., & Bai, X. (2010). **Sustainability experiments in Asia: innovations shaping alternative development pathways?.** *environmental science & policy*, 13(4), 261-271.
- Bhatt, B., & Singh, A. (2020). **Stakeholders' role in distribution loss reduction technology adoption in the Indian electricity sector: An actor-oriented approach.** *Energy Policy*, 137, 111064.
- Bradshaw, A., & de Martino Jannuzzi, G. (2019). **Governing energy transitions and regional economic development: Evidence from three Brazilian states.** *Energy policy*, 126, 1-11.
- Bridge, G., Özkaynak, B., & Turhan, E. (2018). **Energy infrastructure and the fate of the nation: Introduction to special issue.** *Energy Research & Social Science*, 41, 1-11.
- Carvalho, A. D. P., Silveira, A. D., & da Cunha, S. K. (2020). **Renewable energy innovations multiphase trajectory at Itaipu technological park.** *Journal of Cleaner Production*, 246, 119062.
- Clausen, J., & Fichter, K. (2019). **The diffusion of environmental product and service innovations: Driving and inhibiting factors.** *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 64-95.
- Cloke, J., Mohr, A., & Brown, E. (2017). **Imagining renewable energy: Towards a Social Energy Systems approach to community renewable energy projects in the Global South.** *Energy research & social science*, 31, 263-272.
- Cooke, P. (2011). **Transition regions: Regional–national eco-innovation systems and strategies.** *Progress in planning*, 76(3), 105-146.
- Delina, L. L. (2018). **Energy democracy in a continuum: Remaking public engagement on energy transitions in Thailand.** *Energy Research & Social Science*, 42, 53-60.



de Leon Barido, D. P., Avila, N., & Kammen, D. M. (2020). **Exploring the Enabling Environments, Inherent Characteristics and Intrinsic Motivations Fostering Global Electricity Decarbonization.** *Energy Research & Social Science*, 61, 101343.

de Oliveira, J. A. P., Doll, C. N., Balaban, O., Jiang, P., Dreyfus, M., Suwa, A., ... & Dirgahayani, P. (2013). **Green economy and governance in cities: assessing good governance in key urban economic processes.** *Journal of Cleaner Production*, 58, 138-152.

Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE (JO L 140 de 5.6.2009, p. 16).

dos Santos Carstens, D. D., & da Cunha, S. K. (2019). **Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil.** *Energy policy*, 125, 396-404.

Dopfer, K. (2005). **Evolutionary economics: a theoretical framework.** *The evolutionary foundations of economics*, 3-55.

Dopfer, K., Foster, J., & Potts, J. (2004). **Micro-meso-macro.** *Journal of evolutionary economics*, 14(3), 263-279.

Frank, A. G., Gerstlberger, W., Paslauskis, C. A., Lerman, L. V., & Ayala, N. F. (2018). **The contribution of innovation policy criteria to the development of local renewable energy systems.** *Energy Policy*, 115, 353-365.

Geels, F.W. (2002). **Transições tecnológicas como processos de reconfiguração evolutiva: uma perspectiva multinível e um estudo de caso.** *Research policy*, 31 (8-9), 1257-1274.

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. (2007). **Analysing the breakthrough of rock ‘n’roll (1930–1970) Multi-regime interaction and reconfiguration in the multi-level perspective.** *Technological Forecasting and Social Change*, 74(8), 1411-1431.

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. (2013). **The impact of the financial–economic crisis on sustainability transitions: Financial investment, governance and public discourse.** *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 6, 67-95.

Geels, F. W. (2018). **Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016).** *Energy research & social science*, 46, 86-102.

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). **Typology of sociotechnical transition pathways.** *Research policy*, 36(3), 399-417.

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.

Hillman, K. M., & Sandén, B. A. (2008). **Exploring technology paths: the development of alternative transport fuels in Sweden 2007–2020.** *Technological forecasting and social change*, 75(8), 1279-1302.



- Hossain, M. S., Madlool, N. A., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Pandey, A. K., & Khan, A. F. (2016). **Role of smart grid in renewable energy: An overview.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1168-1184.
- Huber, J. (2008). **Pioneer countries and the global diffusion of environmental innovations: Theses from the viewpoint of ecological modernisation theory.** *Global Environmental Change*, 18(3), 360-367.
- Keppler, D. (2018). **Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion.** *Journal of Cleaner Production*, 172, 1535-1544.
- Kivimaa, P., Hildén, M., Huitema, D., Jordan, A., & Newig, J. (2017). **Experiments in climate governance—a systematic review of research on energy and built environment transitions.** *Journal of Cleaner Production*, 169, 17-29.
- Klein, S. J., & Coffey, S. (2016). **Building a sustainable energy future, one community at a time.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 867-880.
- Korjonen-Kuusipuro, K., Hujala, M., Pätäri, S., Bergman, J. P., & Olkkonen, L. (2017). **The emergence and diffusion of grassroots energy innovations: Building an interdisciplinary approach.** *Journal of Cleaner Production*, 140, 1156-1164.
- Ling-zhi, R., Xin-gang, Z., Yu-zhuo, Z., & Yan-bin, L. (2018). **The economic performance of concentrated solar power industry in China.** *Journal of cleaner production*, 205, 799-813.
- Lopolito, A., Morone, P., & Sisto, R. (2011). **Innovation niches and socio-technical transition: A case study of bio-refinery production.** *Futures*, 43(1), 27-38.
- Mercure, JF, Pollitt, H., Chewprecha, U., Salas, P., Foley, AM, Holden, PB e Edwards, NR (2014). **A dinâmica da difusão tecnológica e os impactos dos instrumentos de política climática na descarbonização do setor elétrico global.** *Política energética*, 73, 686-700.
- Never, B., & Betz, J. (2014). **Comparing the climate policy performance of emerging economies.** *World Development*, 59, 1-15.
- Ntona, E., Arabatzis, G., & Kyriakopoulos, G. L. (2015). **Energy saving: Views and attitudes of students in secondary education.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 1-15.
- Osunmuyiwa, O., & Kalfagianni, A. (2017). **The Oil Climax: Can Nigeria's fuel subsidy reforms propel energy transitions?.** *Energy research & social science*, 27, 96-105.
- Padmanathan, K., Govindarajan, U., Ramachandaramurthy, V. K., Rajagopalan, A., Pachaivannan, N., Sowmmiya, U., ... & Periasamy, S. K. (2019). **A sociocultural study on solar photovoltaic energy system in India: Stratification and policy implication.** *Journal of cleaner production*, 216, 461-481.
- Power, M., Newell, P., Baker, L., Bulkeley, H., Kirshner, J., & Smith, A. (2016). **The political economy of energy transitions in Mozambique and South Africa: The role of the Rising Powers.** *Energy Research & Social Science*, 17, 10-19.
- Quist, J., & Tukker, A. (2013). **Knowledge collaboration and learning for sustainable innovation and consumption: introduction to the ERSCP portion of this special volume.** *Journal of Cleaner Production*, 48, 167-175.
- Riva, F., Ahlborg, H., Hartvigsson, E., Pachauri, S., & Colombo, E. (2018). **Electricity access and rural development: Review of complex socio-economic dynamics and causal diagrams for more appropriate energy modelling.** *Energy for Sustainable Development*, 43, 203-223.

Rizzi, F., van Eck, N. J., & Frey, M. (2014). **The production of scientific knowledge on renewable energies: Worldwide trends, dynamics and challenges and implications for management.** *Renewable Energy*, 62, 657-671.

Safarzyńska, K., Frenken, K., & Van Den Bergh, J. C. (2012). **Evolutionary theorizing and modeling of sustainability transitions.** *Research Policy*, 41(6), 1011-1024.

Sæther, B., Isaksen, A., & Karlsen, A. (2011). **Innovation by co-evolution in natural resource industries: The Norwegian experience.** *Geoforum*, 42(3), 373-381.

Schaube, P., Ortiz, W., & Recalde, M. (2018). **Status and future dynamics of decentralised renewable energy niche building processes in Argentina.** *Energy research & social science*, 35, 57-67.

Schot, J., & Geels, F. W. (2008). **Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy.** *Technology analysis & strategic management*, 20(5), 537-554.

Sovacool, B. K. (2016). **How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions.** *Energy Research & Social Science*, 13, 202-215.

Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). **Developing a framework for responsible innovation.** *Research policy*, 42(9), 1568-1580.

Yuan, J., Xu, Y., & Hu, Z. (2012). **Delivering power system transition in China.** *Energy Policy*, 50, 751-772.