

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E GOVERNANÇA
PÚBLICA**

ALCIDES PEREIRA DA SILVA JUNIOR

**CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA**

**CURITIBA
2024**

ALCIDES PEREIRA DA SILVA JUNIOR

**CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA**

Criteria for performance evaluation of a distributed generation system of photovoltaic
electricity

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Planejamento e Governança Pública – Área de Concentração: Planejamento Público e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento

Coorientador: Dr. Márcio Eduardo Zuba

**CURITIBA
2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ALCIDES PEREIRA DA SILVA JUNIOR

**CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Planejamento E Governança Pública da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Planejamento Público E Desenvolvimento.

Data de aprovação: 10 de Junho de 2024

Dr. Décio Estevão Do Nascimento, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Christian Luiz Da Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Mariano De Matos Macedo, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Dr. Sidarta Ruthes De Lima, Doutorado - Senai - Departamento Regional do Paraná, Observatórios Sesi/Senai/Iel

Dedico este trabalho à minha esposa, Marcela, e aos meus filhos, Pedro e Miguel, pelo amor e a paciência durante este tempo de ausências.

À memória de meu pai, Alcides Pereira da Silva.

À minha mãe Ibraima, que além da vida me transmitiu a fé.

Aos meus amigos e irmãos que me apoiaram e me fizeram sonhar mais alto.

A Deus, princípio e fim de todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento, e ao meu Coorientador, Dr. Márcio Eduardo Zuba, por me conduzirem neste difícil caminho do aprendizado, por compartilharem parte de seus conhecimentos, com exemplo de paciência, humildade e sabedoria.

A todos os professores, colegas e à secretaria do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública, por todo o suporte, apoio e convívio.

Agradeço aos professores da banca avaliadora, Prof. Dr. Christian Luiz da Silva, Prof. Dr. Mariano de Matos Macedo e Prof. Dr. Sidarta Ruthes de Lima, por suas contribuições no direcionamento desta pesquisa.

“Todavia, o homem, partícula de tua criação, deseja louvar-te. Tu mesmo que incitas ao deleite no teu louvor, porque nos fizeste para ti, e nosso coração está inquieto enquanto não encontrar em ti descanso.” (AGOSTINHO, 2007, p.2, trad. CSERNICK, L.M.).

RESUMO

O processo global de transição energética busca estabelecer uma nova matriz baseada em fontes renováveis e de baixo impacto ambiental, visando à redução da emissão de gases de efeito estufa, fundamental para combater as mudanças climáticas, como o aquecimento global. Além do foco na descarbonização, a transição energética procura por inovações na forma de gerar, transmitir, distribuir, comercializar e consumir energia elétrica, o que se observa com a descentralização e a digitalização do setor elétrico, seja na produção individual (geração distribuída) ou no autoconsumo de energia, em mecanismos regulatórios e tarifários, tecnologias para a maior segurança e eficiência no fornecimento de energia, bem como em novos modelos de negócios, baseados em tecnologias que permitem colocar os consumidores no centro das políticas públicas energéticas como agentes produtores de energia (ou prossumidores). Entre as inovações tecnológicas do mercado de energia, destaca-se, atualmente, a geração individual de energia elétrica a partir de dispositivos fotovoltaicos. É nesse contexto que esta pesquisa pretende propor critérios para avaliar um sistema de inovação tecnológica de geração distribuída fotovoltaica. Para este levantamento, foi realizado um estudo de mapeamento sistemático de literatura, apoiado nas metodologias *snowball sampling* (bola de neve) e análise de conteúdo, que, por meio de um portfólio de 85 artigos e análises dedutiva e indutiva (utilizando-se o software MAXQDA), permitiu a codificação e a categorização de textos relacionados ao modelo de análise de sistemas de inovação tecnológica: (F1) desenvolvimento e difusão; (F2) mercados e políticas; (F3) pesquisas: tecnologias e experimentação; (F4) formação de mercados; (F5) recursos; (F6) legitimação: impactos e opinião pública; e (F7) externalidades positivas. Isso possibilitou a proposição de 55 critérios analíticos a serem considerados para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica.

Palavras-chave: sistema de inovação tecnológica; geração distribuída; energia solar fotovoltaica.

ABSTRACT

The global energy transition process aims to establish a new framework based on renewable and low environmental impact sources, targeting the reduction of greenhouse gas emissions crucial for combating climate change, such as global warming. Besides decarbonization, the energy transition seeks innovations in generating, transmitting, distributing, trading, and consuming electricity. This is evident in the decentralization and digitalization of the electrical sector, seen in individual production (distributed generation) or self-consumption of energy, regulatory and tariff mechanisms, technologies for enhanced energy supply security and efficiency, as well as new business models centered around technologies enabling consumers to be at the forefront of energy policy as energy producers (or prosumers). Among the technological innovations in the energy market, individual electricity generation through photovoltaic devices stands out currently. It is within this context that this research aims to propose criteria for evaluating a photovoltaic distributed generation technological innovation system. For this survey, a systematic literature mapping study was conducted, supported by snowball sampling and content analysis methodologies, which, through a portfolio of 85 articles and deductive and inductive analyses (using MAXQDA software), allowed the coding and categorization of texts related to the analysis model of technological innovation systems: (F1) development and diffusion; (F2) markets and policies; (F3) research: technologies and experimentation; (F4) market formation; (F5) resources; (F6) legitimation: impacts and public opinion; and (F7) positive externalities. This enabled the proposition of 55 analytical criteria to be considered for the evaluation of the photovoltaic distributed generation technological innovation system.

Keywords: technological innovation system; distributed generation; photovoltaic solar energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais periódicos para os temas GD, FV e sistemas de inovação para documentos publicados entre anos 1991 e 2022.	37
Figura 2 – Inovação tecnológica – abordagens.....	40
Figura 3 – Distribuição do fornecimento de energia no mundo em 2020	44
Figura 4 – Geração de eletricidade renovável, por fonte de energia, 2012 e 2022 ...	45
Figura 5 – Uso das energias no mundo – capacidade cumulativa, por tecnologia....	47
Figura 6 – Investimento global em energia renovável, por tecnologia – 2018-2022 (valores em bilhões de USD).....	48
Figura 7 – Matriz elétrica brasileira – Balanço Energético Nacional, 2022.....	52
Figura 8 – Consumo de energia elétrica no Brasil.....	53
Figura 9 – Quantidade de instalações de micro e minigeradores no Brasil.....	55
Figura 10 – Tela do MAXQDA.....	82
Figura 11 – Nuvem de palavras	85
Figura 12 – Tela do MAXQDA.....	86
Figura 13 – Modelo para análise de sistemas de inovação tecnologia da geração distribuída fotovoltaica.....	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da metodologia, baseada nas técnicas de mapeamento sistemático da literatura, <i>snowballing</i> e análise de conteúdo	27
Quadro 2 – Estratégia de busca – mapeamento sistemático	32
Quadro 3 – Autores basilares em relação ao SIT	39
Quadro 4 – Aplicação do modelo funcional de avaliação de SIT	41
Quadro 5 – Indicadores, definições e critérios para análise das funções	70
Quadro 6 – Contexto e questões para pesquisa	75
Quadro 7 – Portfólio bibliográfico selecionado	78
Quadro 8 – Análise de conteúdo – F1	89
Quadro 9 – Análise de conteúdo – F2	94
Quadro 10 – Análise de conteúdo – F3	100
Quadro 11 – Análise de conteúdo – F4	105
Quadro 12 – Análise de conteúdo – F5	112
Quadro 13 – Análise de conteúdo – F6	116
Quadro 14 – Análise de conteúdo – F7	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Palavras-chave buscadas conjuntamente	30
Tabela 2 – Palavra-chave buscadas separadamente	30
Tabela 3 – Resultados das buscas	32
Tabela 4 – Filtragem dos artigos	33
Tabela 5 – Resultados bola de neve	33
Tabela 6 – Processo de revisão sistemática	36
Tabela 7 – Classificação da relevância dos periódicos - número de citações entre 2019 e 2023.	38

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CA	Categoria de análise
CC	Categoria de contexto
DER	<i>Distributed energy resources</i> (Recursos de energia distribuídos)
DR	<i>Demand response</i> (Resposta à demanda)
DT	<i>Digital technology</i> (Tecnologia digital)
EE	Eficiência energética
ESFV	Energia solar fotovoltaica
EMS	<i>Energy management system</i> (Sistema de gerenciamento de energia)
EO	Energia eólica
ER	Energia renovável
ESS	<i>Energy storage systems</i> (Sistemas de armazenamento de energia)
FIT	<i>Feed-in tariff</i> (contrato de oferta padrão, tarifa renovável avançada ou pagamento de energias renováveis)
F	Função
GD	Geração distribuída
GEE	Gás de efeito estufa
GLD	Gerenciamento do lado da demanda
IA	Inteligência artificial
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
LEM	<i>Local energy market</i> (Mercado local de energia)
LT	Linha de transmissão
MGDS	Microgeração distribuída de fonte solar
MHP	Micro-hidrelétricas
MMGD	Micro e minigeração distribuídas
ODS	Objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano nacional de energia
PNEf	Plano nacional de eficiência energética
ProGD	Programa de desenvolvimento da geração distribuída de energia elétrica
PV	<i>Photovoltaic</i> (fotovoltaico)
P2P	<i>Peer-to-peer</i> (ponto a ponto)
RED	Recurso de energia distribuído
RES	<i>Renewable energy sources</i> (fontes de energia renováveis)
RN	Resolução normativa
SE	Sistema de energia
SI	Sistema de inovação
SIT	Sistema de inovação tecnológica
SNI	Sistema Nacional de Inovação
SRI	Sistema Regional de Inovação

SSI	Sistema Setorial de Inovação
ST	Sistema tecnológico
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicações
TIS	<i>Technological innovation system (vide SIT)</i>
TUSD	Tarifa de uso do sistema de distribuição
UC	Unidade de contexto
UR	Unidade de registro
VE	Veículo elétrico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Tema	15
1.2	Delimitação da pesquisa	20
1.3	Problema e pergunta da pesquisa	21
1.4	Objetivos	22
1.4.1	Objetivo geral	22
1.4.2	Objetivos específicos	22
1.5	Justificativas teóricas e prática.....	22
1.5.1	Justificativa teórica	23
1.5.2	Justificativa prática	23
1.6	Procedimentos metodológicos	24
1.7	Estrutura da dissertação.....	25
2	METODOLOGIA DA PESQUISA	26
2.1	Mapeamento sistemático da literatura.....	27
2.1.1	<i>Strings</i> de pesquisa	29
2.1.2	Varredura nas bases Scopus e WoS.....	31
2.1.3	Processo de filtragem dos artigos, análise e definição do portfólio seminal .	32
2.1.4	Iterações bola de neve (para frente e para trás).....	33
2.1.5	Análise e definição do portfólio bola de neve (<i>corpus</i> dinâmico)	35
2.1.6	Filtragem dos artigos e definição do portfólio do <i>corpus</i> estático	35
2.2	Análise da confiabilidade do portfólio	36
2.3	Análise de conteúdo.....	42
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	43
3.1	Setor energético mundial.....	43
3.2	Energia Solar Fotovoltaica	46
3.3	Setor elétrico brasileiro.....	51
3.4	Geração distribuída	56
3.5	Conceitos, estrutura e dinâmica do sistema de inovação tecnológica .	57
3.5.1	Inovação tecnológica	57
3.5.2	Sistemas de inovação.....	58
3.5.3	Sistemas de inovação tecnológica.....	59

3.5.4	Estrutura: rede de atores e a infraestrutura institucional	61
3.5.5	A abordagem funcional dos sistemas de inovação tecnológica.....	62
3.5.6	As funções do sistema de inovação tecnológica (SIT)	63
3.5.6.1	Desenvolvimento e difusão do conhecimento	63
3.5.6.2	Influência na direção pretendida.....	64
3.5.6.3	Experimentação empreendedora.....	65
3.5.6.4	Formação de mercado.....	65
3.5.6.5	Mobilização de recursos (capital financeiro e/ou intelectual).....	66
3.5.6.6	Legitimação (força política).....	67
3.5.6.7	Desenvolvimento de externalidades positivas	69
3.5.6.8	Resumo da interpretação das funções	70
3.5.1	Críticas e limitações da abordagem SIT	74
3.5.2	Limitação 1: olhar para dentro	74
3.5.3	Limitação 2: a abordagem de função do SIT é baseada principalmente em países desenvolvidos	76
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
4.1	Resultados do mapeamento sistemático da literatura e <i>snowballing</i>: portfólio bibliográfico	77
4.2	Resultados da análise de conteúdo dedutiva: codificação e categorização	81
4.3	Resultados da análise de conteúdo indutiva: unidades de contexto e unidades de registro	85
4.3.1	Desenvolvimento e difusão do conhecimento	87
4.3.2	Influência na direção pretendida (mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT)	92
4.3.3	Experimentação empreendedora (a exploração de novas aplicações: testar novas tecnologia e soluções técnicas dentro do SIT)	98
4.3.4	Formação de mercado.....	103
4.3.5	Mobilização de recursos (econômicos, humanos e técnicos).....	111
4.3.6	Legitimação	114
4.3.7	Desenvolvimento de externalidades positivas	120
4.4	Critérios para a avaliação do SIT da geração distribuída fotovoltaica	124
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
5.1	ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DA PESQUISA.....	131

5.2	Limitações da pesquisa	133
5.3	Sugestões de trabalhos futuros	134
	REFERÊNCIAS.....	136

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial são apresentados o tema e a sua delimitação, o problema e a pergunta da pesquisa, bem como os objetivos deste estudo e as suas justificativas, os procedimentos metodológicos e a estrutura da dissertação.

1.1 Tema

O processo de urbanização acelera o desenvolvimento de cidades inteligentes, que tem como objetivo de atender às expectativas das pessoas por serviços de maior qualidade (Santos *et al.*, 2018). Segundo Harrison *et al.* (2010), uma cidade inteligente fornece diversos serviços baseados em dados em tempo real obtidos de diferentes dispositivos, apoiados por tecnologias de informação e comunicação (TIC). O seu desenvolvimento depende da implementação da Internet das Coisas (IoT) e da construção de infraestruturas urbanas inteligentes e funcionalmente integradas (Xie; He, 2023), e do mesmo modo, a geração distribuída (GD) e a infraestrutura de carregamento de veículos elétricos (VE) são fundamentais para a construção e planejamento de cidades inteligentes (Xie; He, 2023).

Devido à abundância de recursos disponíveis, grande potencial de mercado e baixo custo, a previsão é de a geração de energia fotovoltaica impulsione a transformação estrutural das energias renováveis em todo o mundo até 2050 (Root; Perez, 2006). Uma das formas mais importantes de geração de energia fotovoltaica é a geração distribuída de energia fotovoltaica, que envolve a instalação de módulos fotovoltaicos nas superfícies dos edifícios das cidades para gerar eletricidade (Chen *et al.*, 2014).

A introdução de recursos energéticos distribuídos (DERs, na sigla em inglês), como a geração solar fotovoltaica (PV), não só ajudará a reduzir a emissão de CO² nas cidades, mas a reduzir as perdas de energia devido à transmissão de energia a longa distância e garantir o abastecimento de energia para as cidades (Miyasawa; 2022). Essa autossuficiência energética local, na qual a oferta e a procura de eletricidade são controladas a partir de recursos energéticos distribuídos (DERs), mitiga a carga sobre o sistema energético e contribui para o uso eficiente da energia em cidades inteligentes (Miyasawa; 2022). Espera-se que a autossuficiência energética local seja fundamental para a manutenção de uma rede elétrica local

estável (Kara *et al.*, 2022), evitando investimentos adicionais em redes elétricas (Miyasawa; 2022).

Com a evolução da tecnologia digital, à redução dos custos das energias renováveis descentralizadas e à disseminação dos recursos de energia distribuídos o papel dos consumidores no mercado de energia elétrica foi alterado (Martins; Branco; Hallack, 2022). A economia digital mudou o papel do consumidor, antes passivo, para o conceito de prosumidor (palavra derivada do termo em inglês *prosumer*, aglutinação de *producer* e *consumer*), que é o consumidor que participa descentralizadamente no processo de geração de energia elétrica, realizando o autoconsumo e exportando o seu excedente de energia para as distribuidoras (Martins; Branco; Hallack, 2022). Novas oportunidades para combinar oferta e demanda de forma distribuída surgem como resultado das tendências no mercado de energia que se descentralizam. A expansão da capacidade de armazenamento local, a mudança na oferta e na demanda ao longo do tempo são algumas das muitas maneiras pelas quais a disponibilidade de flexibilidade distribuída pode ser alcançada (Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018).

O setor de distribuição de energia elétrica em todo o mundo está experimentando mudanças significativas, e a geração distribuída desempenha um papel importante nesse processo (Fiuza *et al.*, 2022). A geração distribuída (GD) refere-se a unidades de porte pequeno que são parte do sistema elétrico de distribuição e que estão no lado consumidor na rede (Ackermann; Andersson; Söder, 2001; Bollen; Hassan, 2011). Os modelos de negócios das empresas distribuidoras de energia elétrica enfrentam grandes desafios, mas a possibilidade de implementar geração distribuída oferece oportunidades a empreendedores (Castro; Dantas, 2017). Existem diversas razões para o crescente aumento da GD, como a possibilidade de postergação de investimentos na expansão dos sistemas, a diversidade da matriz energética, os avanços tecnológicos e a diminuição do impacto ambiental (Tan, 2014). A GD reduz as perdas elétricas, alivia o congestionamento nas linhas de transmissão, melhora o perfil de tensão e a estabilidade do sistema e reduz os custos de eletricidade para o consumidor final (Nolan *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2021).

O conceito de descentralização está fortemente ligado à integração de energia renovável da GD (Dranka; Ferreira, 2020). No entanto, também está relacionado à digitalização (como a instalação de medidores inteligentes) e a sistemas de baixo

carbono (descarbonização) (Dranka; Ferreira, 2020). A natureza dos sistemas de eletricidade descentralizados enfatiza a necessidade de redimensionar várias funções de governança com foco em transparência, coerência, adaptabilidade, inclusão e capacitação (Brisbois, 2020). Em relação à fonte de energia primária utilizada na geração distribuída, ela pode ser renovável ou não renovável (Mendes; Sthel; Lima, 2020). Entre as fontes não renováveis destaca-se o gás natural, utilizado em microturbinas e em motores alternativos de combustão interna (Mendes; Sthel; Lima, 2020). As fontes renováveis relacionam-se às pequenas centrais hidroelétricas, à energia eólica, à biomassa utilizada em termoeletricas, ao biogás utilizado em microturbinas e à energia solar fotovoltaica (ESFV) (Allan *et al.*, 2015; Carley, 2009).

A ESFV, ou seja, a radiação solar captada por meio de painéis compostos por células fotovoltaicas, convertida em eletricidade (Gil *et al.*, 2020), representa um dos mercados mais promissores no portfólio de energias renováveis, devido ao seu potencial de mitigar o aquecimento global e atender às metas de redução de emissões de CO₂ impostas por governos nacionais e acordos internacionais (Franco; Groesser, 2021). Ainda, os sistemas fotovoltaicos podem gerar energia em locais rurais que não estão conectados à rede, bem como fornecer energia à rede elétrica (Gil *et al.*, 2020). Desse modo, a tecnologia associada à utilização de ESFV é capaz de acelerar a introdução de energia renovável e, portanto, de ajudar a atingir as metas de energia, pois é uma tecnologia com alto potencial técnico, ampla disponibilidade, rápida redução de custos e granularidade (Jaxa-Rozen; Trutnevyte, 2021). Essa tecnologia experimentou um grande crescimento nos últimos anos, tornando-se uma das formas mais promissoras de tecnologia renovável (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022).

Tal como ocorreu em muitas indústrias, o setor de energia e serviços públicos não é mais caracterizado por uma cadeia de valor linear da geração, transmissão e distribuição até o consumidor final (Gordijn; Akkermans, 2007; Porter, 1985); alternativamente, as cadeias de valor estão se transformando em “constelações de valor mais complexas” (Gordijn; Akkermans, 2007, p. 1), nas quais as empresas colaboram e competem em rede (Gordijn; Akkermans, 2001; Tapscott; Ticoll; Lowy, 2000). No setor de energia, isso é resultado de uma combinação de fatores, como o desenvolvimento constante das tecnologias de geração distribuída, a crescente penetração de sistemas e as tecnologias avançadas de informação e comunicação (como a internet e a *web*, que também são distribuídas e tendem a levar à

descentralização) para gerenciar uma rede cada vez mais complexa (Gordijn; Akkermans, 2007). O fluxo de *commodities* na cadeia de valor tradicional tornou-se bidirecional, pois os consumidores não estão mais restritos a um papel de cliente passivo, mas podem gerar sua própria energia e comercializá-la no mercado, e, desse modo, não apenas o fluxo de mercadorias, mas também o monetário, foi interrompido (Hoppe; Butenko; Heldeweg, 2018). Além disso, os consumidores de energia estão se tornando cada vez mais inovadores e, nesse processo, não mais dependem totalmente dos fornecedores (Hoppe; Butenko; Heldeweg, 2018). Essas mudanças resultaram em uma inovação disruptiva no mercado de energia, focada tanto no fornecedor quanto no usuário (Hoppe; Butenko; Heldeweg, 2018).

Embora a energia solar fotovoltaica ofereça grandes oportunidades para transformar os setores de eletricidade de muitos países em desenvolvimento, a expansão da implantação de energia fotovoltaica a preços baixos e competitivos requer a redução de riscos, o que exige atração de grande volume de investimentos (Ondraczek; Komendantova; Patt, 2015; Schmidt, 2014). Em vários países em desenvolvimento, os investidores e desenvolvedores de projetos fotovoltaicos enfrentam riscos tecnológicos, políticos e macroeconômicos, manifestados em altos custos de financiamento, que refletem barreiras informacionais, técnicas, regulatórias, financeiras e administrativas e seus riscos de investimento associados (Waissbein *et al.*, 2013). Podem existir ainda outras ameaças ou riscos políticos, relacionados com instabilidade do governo e riscos macroeconômicos de flutuações cambiais (Dobrotkova; Surana; Audinet, 2018).

A ESFV distribuída oferece a oportunidade de melhorar a confiabilidade da eletricidade em locais onde os serviços de eletricidade são prejudicados, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas (Kammen; Sunter, 2016). Ela pode assim promover o desenvolvimento econômico de comunidades, seja por meio de geração de empregos (por exemplo, voltados à instalação de sistemas) ou gerando renda familiar adicional no caso de as famílias poderem vender eletricidade à rede (Geall; Shean; Gongbuzeren, 2018; Matsuo, 2019). No processo de transição energética, a geração de energia renovável distribuída, especialmente aquela relacionada a tecnologias solares fotovoltaicas, pode desempenhar um papel significativo em aplicações residenciais, comerciais e industriais (International Energy Agency; International Renewable Energy Agency, 2017; Kriechbaum; Brent; Posch,

2018).

A implementação bem-sucedida de novas tecnologias na sociedade geralmente depende de uma série de fatores tecnológicos e socioeconômicos (Rogers, 2003). Como resultado, muitas áreas da engenharia de sistemas complexos concordam que se deva levar em consideração na sua implementação requisitos técnicos e de negócios (Gordijn; Akkermans, 2003). Essa regra também se aplica às novas tecnologias de geração de energia, tais como as já mencionadas, geração distribuída e recursos de energia distribuídos (Gordijn; Akkermans, 2007). A análise de seu potencial exige uma discussão teórica de sistemas que envolve a análise de suas características técnicas gerais (Gordijn; Akkermans, 2007) e a necessidade de se considerar contextos e cenários estratégicos amplos, nos quais as tecnologias funcionarão (Van der Heijden, 1996), e dos modelos de negócio (Gordijn; Akkermans, 2001) que visam tornar as tecnologias inovadoras economicamente sustentáveis, além do estágio de pesquisa e desenvolvimento (Gordijn; Akkermans, 2007).

O conjunto formado pelos elementos, tecnologias, atores, redes e instituições, que colaboram para o desenvolvimento de determinado campo tecnológico (Bergek *et al.*, 2008, 2015; Markard; Truffer, 2008) é o objeto do modelo de análise de sistema de inovação tecnológica (SIT ou, em inglês, TIS, de *technological innovation system*), que propõe uma análise funcional para determinar o desempenho, pontos fortes e fraquezas de determinado sistema tecnológico. O conceito de SIT surgiu como parte da literatura mais ampla sobre sistemas de inovação (SI) (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018; Markard; Truffer, 2008). A literatura relacionada a SIT adota a abordagem sistêmica para entender o desenvolvimento de um setor tecnológico, com foco na criação de conhecimento e na difusão do conhecimento em redes (Carlsson; Stankiewicz, 1991; Lilliestam *et al.*, 2021).

A estrutura de sistemas tecnológicos (inovação) foi desenvolvida por um conjunto de estudiosos suecos, no final dos anos 1980 e início dos anos 1990 (Bergek, 2019), com o objetivo de construir uma base de análises de políticas de tecnologia (Carlsson; Elg; Jacobsson, 2010). O desenvolvimento posterior da chamada abordagem de funções foi realizado por Johnson (2001)¹, Jacobsson (2001), Hekkert *et al.* (2007) e Bergek *et al.* (2008). Embora os sistemas de inovação tecnológica

¹ Johnson era o sobrenome de solteira de Anna Bergek.

sejam definidos em um sistema de inovação global, os estudos geralmente se concentram nos determinantes nacionais do desenvolvimento do sistema (Van der Loos *et al.*, 2021), o que destaca o importante papel que o contexto geográfico desempenha ao influenciar o surgimento e o desenvolvimento de SIT (Van der Loos *et al.*, 2021). O foco pode estar em campos tecnológicos maduros ou no surgimento e difusão de inovações novas e radicais (Bergek *et al.*, 2008, 2015; Carlsson; Stankiewicz, 1991; Hekkert *et al.*, 2007; Markard; Truffer, 2008).

Um SIT é também definido como uma rede de atores e instituições engajados na geração e difusão de um artefato tecnológico (Markard; Raven; Truffer, 2012). Os atores são as peças-chave no sistema de inovação e podem incluir empresas privadas, órgãos governamentais, mercado de ações e grupos de pesquisa (Van der Loos *et al.*, 2021). As instituições são as regras que regem a tecnologia, enquanto as redes representam a dinâmica que permite a troca de conhecimento tácito e explícito e interações entre os atores (Van der Loos *et al.*, 2021). A infraestrutura inclui um aparato físico – como estradas, portos e telecomunicações – e um relacionado ao conhecimento, como a presença de universidades técnicas (Van der Loos *et al.*, 2021).

Segundo Jacobsson e Bergek (2004), para obter êxito em um sistema energético, a nova tecnologia deve levar em conta o sistema social onde ocorre o desenvolvimento e a difusão ou a rejeição de novas tecnologias. Assim, um sistema de energia precisa ser sustentável, em termos de oferta e de demanda (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

1.2 Delimitação da pesquisa

Em termos de delimitação metodológica, para propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída de fonte solar, objetivo deste estudo, a pesquisa adotará a abordagem proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007), que visa identificar os processos-chave de um sistema específico de inovação. Essa abordagem visa entender a dinâmica do sistema de inovação, identificando seus elementos estruturais e analisando seu estado atual e potencial (Do Nascimento; Furtado; Bonacelli, 2013). Os processos-chave são conhecidos como "funções dos sistemas de inovação", e podem determinar o seu desempenho (Do

Nascimento; Furtado; Bonacelli, 2013, p. 2).

A opção pela geração distribuída se dá em função de sua capilaridade, número de atores envolvidos e por se tratar de uma ruptura com o modelo tradicional do sistema elétrico. A escolha pelo estudo da fonte solar, por sua vez, deu-se pelo fato de a energia fotovoltaica estar em plena ascensão, com potencial para formar um novo cenário para o mercado de energia e, conseqüentemente, com a necessidade de novas tecnologias. Esta fonte de energia gera mudanças importantes no papel do pequeno consumidor, que passa a ter a possibilidade de ser um gerador, atuando, portanto, diretamente no fenômeno de transição do modelo energético mundial. Ainda, considerando o atual cenário de modernização do sistema elétrico, a abertura gradual deste mercado e o novo papel do consumidor-produtor de sua própria energia, surge a dúvida a respeito de quais são os critérios para avaliar o desenvolvimento (pontos fortes e as barreiras) do sistema de inovação tecnológica de geração distribuída fotovoltaica.

1.3 Problema e pergunta da pesquisa

A abordagem funcional proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007) visa identificar meios de acelerar a difusão de uma tecnologia que tenha sido definida como desejável por empreendedores, formuladores de políticas e/ou outras partes interessadas relevantes. As funções, em sistemas de inovação, determinam o desempenho do sistema por meio de um mapeamento empírico e da análise dessas funções, podendo identificar forças e fraquezas do sistema (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Esta estrutura descreve as redes de atores e instituições (ou seja, o sistema socioinstitucional) que emergem por trás das tecnologias e sugere que as barreiras ao desenvolvimento e difusão de novas tecnologias são tipicamente enraizadas nas fraquezas dessas redes (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018; Markard; Raven; Truffer, 2012). A rede de atores e a infraestrutura institucional são dinâmicas (Bergek, 2019).

Um dos principais benefícios da abordagem de funções é o de permitir aos estudiosos medir o desempenho dos sistemas de inovação, ou compreender a dinâmica do sistema (Edsands, 2019; Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). Pode-se destacar, dessa forma, o desempenho insatisfatório de uma ou mais funções do sistema com as quais os formuladores de políticas precisarão intervir (políticas para

gerar, difundir e utilizar uma nova tecnologia) (Bergek *et al.*, 2008; Edsand, 2019). Outro benefício da abordagem de funções é que ela fornece, aos estudiosos, *insights* sobre processos de crescimento dos sistemas de inovação (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018).

Nesse contexto, busca-se uma ferramenta que possibilite compreender o *status* da geração distribuída fotovoltaica em determinado local e comparar seu desempenho (potenciais e bloqueios) com o de outros mercados ou locais ou, ainda, de outras energias e tecnologias.

Diante do exposto, propõe-se a seguinte pergunta de pesquisa:

— Quais critérios poderiam ser empregados na avaliação do desempenho do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica?

1.4 Objetivos

Nesta seção são apresentados os objetivos, geral e específicos, que representam as soluções às perguntas principal e secundárias da pesquisa.

1.4.1 Objetivo geral

Propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica.

1.4.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado são propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar o estado da arte relacionado à abordagem conjunta dos temas: geração distribuída; energia solar e sistemas de inovação tecnológica (revisão sistemática);
- b) categorizar o conteúdo da literatura selecionada;
- c) analisar as relações entre categorias definidas e seus principais elementos.

1.5 Justificativas teóricas e prática

Nesta subseção são apresentadas as justificativas teórica e prática da

pesquisa.

1.5.1 Justificativa teórica

Embora temas como energia solar e geração distribuída de energia elétrica sejam discutidos e de interesse crescente, observou-se, com base na pesquisa bibliográfica preliminar realizada, uma carência de pesquisas voltadas especificamente ao sistema de inovação tecnológica aplicado à energia solar gerada pelo próprio consumidor. A busca por artigos, realizada nas bases Portal de Periódicos CAPES e Google Scholar, para o intervalo entre 2020 e 2022, retornou apenas quatro documentos que relacionam em seus assuntos as temáticas geração distribuída, energia solar fotovoltaica e sistema de inovação tecnológica, conforme será detalhado mais adiante. Constata-se assim que a aplicação do conceito ou de modelos de análise de sistemas de inovação tecnológica, voltados para o diagnóstico da dinâmica e do potencial da geração distribuída fotovoltaica, tem recebido pouca atenção.

1.5.2 Justificativa prática

A pesquisa a ser realizada para propor critérios para avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica é aderente ao contexto acadêmico e societal, pois:

- a) na perspectiva da área de avaliação (Planejamento Urbano e Regional e Desenvolvimento) do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública (PPGPGP), contempla fatores como o desenvolvimento regional, a pesquisa de novos paradigmas do setor elétrico e inovações tecnológicas;
- b) na perspectiva da área de concentração do PGP, Planejamento Público e Desenvolvimento, representa a busca de conhecimento novo sobre o papel de políticas públicas do setor elétrico no envolvimento de diferentes atores e recursos no mercado e na matriz energética mundial, com uma aplicação local;
- c) na perspectiva da Linha de Pesquisa Planejamento e Políticas Públicas, envolve a interação entre planejamento e políticas públicas ao discutir os seus processos, com ênfase em seu planejamento e implementação;
- d) na perspectiva do Grupo de Pesquisa Território: Redes, Políticas, Tecnologia e Desenvolvimento (TRPTD), volta-se à política, à dinâmica, a ambientes, e às

- ferramentas apropriadas à promoção do desenvolvimento do território;
- e) na perspectiva societal, os resultados deste estudo podem contribuir com políticas públicas assertivas voltadas à promoção do desenvolvimento regional por meio da consolidação de sistemas de inovação tecnológica de interesse da região/estado;
 - f) na perspectiva pessoal, possui relevância profissional, tendo em vista que o pesquisador discente atua na Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel), desde o ano de 2010. Atualmente, está lotado na subsidiária Copel Comercialização S.A. (Copel Mercado Livre), criada para atuar com novos tipos de contratos e consumidores, decorrentes da abertura do mercado de energia elétrica.

1.6 Procedimentos metodológicos

Conforme os critérios propostos por Gil (2010) para categorizar pesquisas, este estudo é classificado como uma pesquisa aplicada, quanto à sua natureza, uma vez que representa um esforço original para obter novos conhecimentos sobre o assunto em questão, estando focado em um objetivo prático específico. Já em relação aos seus objetivos, esta pesquisa é descritiva, pois pretende descrever características de um fenômeno específico, estabelecer conexões entre variáveis e usar métodos padronizados de coleta de dados (Gil, 2002).

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa é predominantemente bibliográfica, com coleta de dados secundários, desenvolvida com base em materiais já elaborados, principalmente livros e artigos científicos (Gil, 2010). Por fim, quanto à abordagem do problema, esta pesquisa é qualitativa, pois, ainda de acordo com Gil (2010), a análise qualitativa pode ser desenvolvida por uma sequência de atividades que envolve o levantamento de dados, a categorização desses dados, sua interpretação e a redação de um relatório. Para tanto, foram utilizadas as análises categorial e temática, com base no método de análise de conteúdo e nas contribuições de Bardin (2021).

Desse modo, esta pesquisa, de natureza aplicada, adota uma abordagem predominantemente qualitativa para o problema, na qual são utilizadas essencialmente técnicas de pesquisa bibliográfica, buscando-se, na literatura, informações relacionadas aos temas geração distribuída, energia solar e sistemas de inovação tecnológica.

1.7 Estrutura da dissertação

Esta dissertação possui uma estrutura formada por cinco capítulos específicos.

O **Capítulo 1 (Introdução)** constitui este introito, no qual são apresentados o tema da pesquisa e sua delimitação, o problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, as justificativas teórica e prática, os procedimentos metodológicos, o embasamento teórico e a estrutura do projeto, conforme descrita neste tópico.

O **Capítulo 2 (Metodologia da pesquisa)** traz a descrição da operacionalização dos procedimentos metodológicos adotados para a execução completa deste estudo. Também apresenta as etapas de pesquisa envolvendo a coleta, a seleção de dados e a definição das estratégias adotadas para a análise destes dados.

O **Capítulo 3 (Fundamentação teórica)** concentra a fundamentação teórica da pesquisa. Nele, é apresentada uma revisão de literatura englobando os temas: energia solar; geração distribuída, mini e microgeração distribuída, sistemas de inovação e sistemas de inovação tecnológica.

No **Capítulo 4 (Apresentação e análise dos resultados)** são apresentadas as estratégias e ações envolvidas no processo de identificação dos critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica. Os resultados são discutidos à luz dos trabalhos incluídos na fundamentação teórica.

No **Capítulo 5 (Considerações finais)** são retomados os objetivos da pesquisa e apresentados, de forma sintética, seus resultados, destacando-se ainda as limitações da pesquisa e sugestões de pesquisas futuras a partir do legado desta pesquisa.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo são detalhados os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, a qual tem como objetivo geral propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica (GDFV). Para alcançar esse objetivo, aplicou-se à pesquisa a técnica de mapeamento sistemático da literatura e a abordagem *snowballing*, que propõe o uso da lista de referências de um artigo ou das citações do artigo, para identificar artigos adicionais (Wohlin, 2014). A obtenção dos resultados baseou-se nas técnicas de análise de conteúdo, conforme a visão de Laurence Bardin (2021). De acordo com Bardin (2021), a análise de conteúdo consiste em métodos de análise de comunicação que visam atingir resultados sistemáticos. Para auxiliar na análise dos dados, foi utilizado o *software* MAXQDA. O Quadro 1 apresenta as fases da pesquisa, os objetivos relacionados, as técnicas de coleta, as análises realizadas e os resultados obtidos em cada fase.

Quadro 1 – Resumo da metodologia, baseada nas técnicas de mapeamento sistemático da literatura, *snowballing* e análise de conteúdo

	Etapas		Análise	Resultado
Pré-análise (escolha dos documentos)	1	Definição da questão de pesquisa	Aplicação dos temas geração distribuída (GD) e energia solar fotovoltaica (ESFV)	Quais os critérios utilizados para avaliar o SIT da GDFV?
	2	Mapeamento sistemático da literatura	Definição dos eixos temáticos e das palavras-chave	<i>Strings</i> de pesquisa
			Varredura nas bases Scopus e WoS	Portfólio bruto
			Leitura e filtragem (critérios para inclusão e exclusão)	Portfólio inicial
			<i>Snowballing</i>	Portfólio bola de neve
			Leitura e filtragem (critérios para inclusão e exclusão)	Portfólio final
	3	Análise da confiabilidade do portfólio	Representatividade dos autores e periódicos	Caraterização do material selecionado
Exploração do material	4	Análise de conteúdo – codificação e classificação (Bardin, 2021)	Software MAXQDA (análise dedutiva, 85 artigos)	Codificação
			Contagem de palavras e frequência de incidência de temas	Categorias de análise (CA)
			Software MAXQDA (análise indutiva, 61 artigos)	Unidades de contexto (UC)
			Análise das informações selecionadas da base de artigos	Unidades de registro (UR)
Tratamento dos resultados	5	Análise de conteúdo – análise de resultados (Bardin, 2021)	Inferência e interpretação das unidades de registro e das funções do SIT	Critérios analíticos para as funções do SIT da GDFV

Fonte: autoria própria (2024).

2.1 Mapeamento sistemático da literatura

A metodologia de seleção do referencial bibliográfico consiste em uma série de procedimentos sequenciais que se iniciam com a definição do mecanismo de busca dos artigos científicos nas bases escolhidas, seguindo por procedimentos de filtragem até a seleção e análise dos resultados obtidos e que irão compor o portfólio bibliográfico relevante sobre o tema. Este processo de levantamento bibliométrico foi estabelecido em 17 etapas, descritas a seguir e cujos resultados são apresentados na Tabela 6, mais adiante nesta mesma subseção.

Após os passos iniciais em que foram definidos o problema, pergunta e objetivos da pesquisa, foram definidos eixos temáticos, as palavras-chave e realizados testes de aderência o que possibilitou a confecção de uma *string* para busca e o início do levantamento de artigos (etapa 1). A *string* foi aplicada às bases

selecionadas, Web of Science e Scopus (etapa 2). Os resultados obtidos, em cada base de dados, ou seja, o banco inicial de artigos, foi exportado para o *software* de gerenciamento bibliográfico Zotero (etapa 3) e a organização dos dados seguiu em planilha Excel para facilitar a análise das informações (etapa 4). Já a etapa 5 consistiu na filtragem dos artigos, iniciando-se com a exclusão de documentos repetidos – repetição que pode ocorrer pelo fato de a busca ter sido feita em duas bases de dados. Na etapa 6 foram excluídos documentos não disponíveis para *download*. Na sequência (etapa 7) foi realizada a leitura flutuante, que consistiu na leitura dos títulos, resumos, palavras-chave e conclusões ou resultados dos documentos para a verificação da sua aderência à pesquisa, enquanto na etapa 8 foi realizada a leitura integral e excluídos documentos com conteúdo não aderente.

O resultado desse processo de filtragem foi considerado como portfólio bibliográfico inicial desta pesquisa. Visando ampliar o portfólio de artigos foi utilizada a técnica de *snowballing* (bola de neve), que consistiu em iterações para trás e para frente. Para trás (etapa 9), com o levantamento de todo o referencial destes documentos até aqui selecionados. Para a frente, com o levantamento, via ferramenta de busca Google Acadêmico, de pesquisas que se utilizaram dos artigos selecionados em estudos mais recentes, ou seja, as citações desta base de artigos (etapa 10).

Na sequência, na etapa 11, aplicou-se filtro de busca de artigos recentes, publicados nos últimos seis anos, mantendo-se os demais filtros anteriormente definidos: disponibilidade integral do documento, exclusão de duplicados, leitura flutuante (etapa 12) e leitura integral (etapa 13), para a identificação da aderência ao tema. Obteve-se assim um novo portfólio bola de neve, que, somado ao portfólio inicial, constituiu-se no *corpus* dinâmico da pesquisa. Já na etapa 14 foram verificados todos os trabalhos selecionados no referencial bibliográfico, com exceção de dissertações e teses, identificando-se, mediante tabulação de dados, os autores mais frequentes, os quais foram considerados, portanto, autores basilares.

Os artigos produzidos pelos autores de base mais citados na base do *corpus* dinâmico foram separados e organizados na etapa 15 do processo, assim totalizando 85 artigos.

Em seguida, desse conjunto de artigos, foram extraídas a base de informações acerca da teoria e conceitos do SIT e de sua abordagem funcional, além de demais informações utilizadas na fundamentação teórica desta pesquisa. Visando

o atingimento do seu objetivo principal, de propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica, aplicou-se novo filtro com o propósito de descartar (etapa 16) artigos publicados antes de 2018. Assim, o resultado do levantamento bibliométrico (etapa 17) gerou um conjunto final de 61 documentos, que passou a compor o portfólio bibliográfico do tema de pesquisa.

2.1.1 *Strings* de pesquisa

Para atingir o objetivo definido na etapa inicial (propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica) foram definidos como eixos temáticos a serem explorados: 1) sistemas de inovação; 2) geração distribuída; e 3) energia solar. A partir dessas grandes áreas (ou eixos) temáticas(os) foram escolhidas as palavras-chave que melhor as(os) representam, para então realizar a busca nas bases de dados.

Para verificar a aderência das palavras-chave foi realizada uma investigação, cujos resultados são apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2. Buscou-se identificar o tratamento do tema no contexto nacional. A pesquisa foi realizada utilizando-se a *string* de busca “inovação tecnológica” *; “sistemas de inovação” *; “geração distribuída” *; “microgeração” *; “energia solar” *; “sistemas fotovoltaicos” * nos buscadores Google Acadêmico e Portal de Periódicos CAPES, referentes ao período entre 2020 e 2022, parametrizado para considerar, em ambos, a *string* em português, nos títulos de artigos revisados por pares e de acesso aberto. Em um primeiro momento a busca foi realizada com a *string* única envolvendo todas as palavras-chave (Tabela 1).

Tabela 1 – Palavras-chave buscadas conjuntamente

Eixos temáticos	Palavras-chave	Google Acadêmico	Portal CAPES	Total
Sistema de inovação tecnológica; Geração distribuída; Energia solar	“inovação tecnológica” *; “sistemas de inovação” *; “geração distribuída” *; “microgeração” *; “energia solar” *; “sistemas fotovoltaicos” *	4	0	4

Fonte: autoria própria (2024).

Posteriormente, em razão de a primeira busca ter resultado em poucos documentos, tratando dos temas, foram feitas buscas com as palavras-chave separadas (Tabela 2).

Tabela 2 – Palavra-chave buscadas separadamente

Eixos temáticos	Palavras-chave	Google Acadêmico	Portal CAPES	Total
Sistema de inovação tecnológica	inovação tecnológica	276	19	295
	sistemas de inovação	55	9	64
Geração distribuída	geração distribuída	206	5	211
	microgeração	47	0	47
Energia solar	energia solar	366	7	373
	sistemas fotovoltaicos	334	11	345
Total		1.284	51	1.335

Fonte: autoria própria (2023).

A busca realizada retornou um total de 1.335 artigos, nos quais os termos com maior frequência foram: inovação tecnológica; geração distribuída; energia solar e sistemas fotovoltaicos. Conclui-se, com isso, que os temas GD e GDFV são tratados em recentes pesquisas, porém em poucos casos são analisados sob o ponto de vista do sistema de inovação tecnológica.

As palavras encontradas na etapa anterior foram utilizadas para a continuação do mapeamento sistemático considerando o contexto internacional de pesquisa. Para tanto, as palavras-chave foram inseridas em inglês. Por se tratar de expressões, foram

utilizados parênteses, aspas e as palavras-chave foram combinadas e utilizadas em inglês, no plural e singular, com os recursos de precisão como operadores booleanos AND e OR.

2.1.2 Varredura nas bases Scopus e WoS

Foi realizada a seguinte pesquisa, no Portal de Periódicos da CAPES, via Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), com combinação das palavras-chave na *string* de busca, utilizando os parâmetros padrão (*default*) das bases dos bancos de dados da Web of Science (WoS) e Scopus: *“technological innovation” OR “technological innovations” OR “technological-innovation” OR “technological innovation system” OR “technological-innovations” OR “innovate system” OR “innovate systems” OR “innovation system” OR “innovation systems”*) AND (*“distributed generation” OR “dg” OR “distributed-generation photovoltaic”*) AND (*“solar energy” OR “pv system” OR “solar pv” OR “solar-energy” OR “solar energy” OR “power” OR “electricity” OR “wind energy” OR “renewable energy” OR “photovoltaic systems” OR “Photovoltaic System” OR “PV” OR “microgeneration”*). Essa pesquisa ocorreu em 20 de fevereiro de 2023, resultando em 137 artigos distintos, conforme demonstrado no Quadro 2 e na Tabela 3.

Quadro 2 – Estratégia de busca – mapeamento sistemático

Estratégia de busca	Sistema de inovação tecnológica		Geração distribuída		Energia solar
	“technological innovation” OR “technological innovations” OR “technological-innovation” OR “technological innovation system” OR “technological-innovations” OR “innovate system” OR “innovate systems” OR “innovation system” OR “innovation systems”	AND	“distributed generation” OR “dg” OR “distributed-generation photovoltaic”	AND	“solar energy” OR “pv system” OR “solar pv” OR “solar-energy” OR “solar energy” OR “power” OR “electricity” OR “wind energy” OR “renewable energy” OR “photovoltaic systems” OR “photovoltaic system” OR “PV” OR “microgeneration”

Fonte: autoria própria (2024).

Tabela 3 – Resultados das buscas

String	WoS	Scopus	Total
(((“technological innovation” OR “technological innovations” OR “technological-innovation” OR “technological innovation system” OR “technological-innovations” OR “innovate system” OR “innovate systems” OR “innovation system” OR “innovation systems”) AND (“distributed generation” OR “dg” OR “distributed-generation photovoltaic”) AND (“solar energy” OR “pv system” OR “solar pv” OR “solar-energy” OR “solar energy” OR “power” OR “electricity” OR “wind energy” OR “renewable energy” OR “photovoltaic systems” OR “Photovoltaic System” OR “PV” OR “microgeneration”)))	98	39	137

Fonte: autoria própria (2024).

2.1.3 Processo de filtragem dos artigos, análise e definição do portfólio seminal

Os resultados da etapa anterior originaram o banco inicial de artigos e, nesta etapa 6, foi realizada a filtragem dos artigos obtidos. Os primeiros filtros foram a disponibilidade integral ao documento, a remoção de arquivos duplicados e, por fim, a leitura flutuante dos artigos a fim de considerar apenas textos aderentes aos temas da pesquisa, e consistiu na leitura dos seguintes campos dos artigos: a) títulos e subtítulos; b) resumos; c) palavras-chave; d) introdução; e e) conclusão. O resultado

desta filtragem foram 15 artigos alinhados à pesquisa e que passaram a compor o portfólio de interesse, conforme a Tabela 4. A maior parte dos artigos excluídos nas leituras flutuante e integral por falta de aderência, mostravam foco técnico em sistemas de energia e automação.

Tabela 4 – Filtragem dos artigos

Etapa	Exclusões	Subtotal
Busca nas bases	-	137
Artigos não disponíveis	20	117
Artigos duplicados	21	96
Leitura flutuante – artigos não aderentes	72	24
Leitura integral – artigos não aderentes	9	15

Fonte: autoria própria (2024).

2.1.4 Iterações bola de neve (para frente e para trás)

Visando aumentar a base de documentos, aplicou-se ao portfólio bibliográfico seminal a técnica de bola de neve (etapa 7), considerando-se, inicialmente, apenas documentos publicados a partir do ano 2017. O resultado bruto das iterações iniciais de bola de neve foi a seleção de 612 artigos distintos, dos quais, após as análises e exclusões, foram mantidos 125 artigos, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados bola de neve

(continua)

It	Autores	Título do artigo	Ano de publicação	Plataforma	Bola de neve para trás (1)	Bola de neve para frente (1)
1	Ali, A. <i>et al.</i>	Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China	2017	MDPI - Sustainability	0	14
2	Ali, A. S. <i>et al.</i>	A clean technological innovation and eco-efficiency enhancement: A multi-index assessment of sustainable economic and environmental management	2021	Elsevier - Technological Forecasting and Social Change	4	0

(continua)

It	Autores	Título do artigo	Ano de publicação	Plataforma	Bola de neve para trás (1)	Bola de neve para frente (1)
3	Burghard, U. <i>et al.</i>	Cross-border concentrated solar power projects-opportunity or dead end? A study into actor views in Europe	2022	Elsevier - Energy Policy	7	1
4	Dantas, G. D. <i>et al.</i>	Public policies for smart grids in Brazil	2018	Elsevier - Renewable and Sustainable Energy Reviews	0	6
5	Eras-Almeida, A. A.; Egido-Aguilera, M. A.	What Is Still Necessary for Supporting the SDG7 in the Most Vulnerable Contexts?	2020	MDPI - Sustainability	3	0
6	Eusebio, E.; Sousa, J. A. M.; Neves, M. V	Impacts of Energy Market Prices Variation in Aggregator's Portfolio	2016	Springer - Technological Innovation for Cyber-Physical Systems	0	0
7	Gordijn, J.; Akkermans, H.	Business models for distributed generation in a liberalized market environment	2007	Elsevier - Science Direct	0	12
8	Keay, M.; Rhys, J.; Robinson, D.	Electricity Markets and Pricing for the Distributed Generation Era	2014	Elsevier - Science Direct	0	0
9	Lammers, I.; Diestelmeier, L.	Experimenting with Law and Governance for Decentralized Electricity Systems: Adjusting Regulation to Reality?	2017	MDPI - Sustainability	0	6
10	Matsuo, T.	Fostering grid-connected solar energy in emerging markets: The role of learning spillovers	2019	Elsevier - Energy Research & Social Science	4	4
11	Praetorius, B. <i>et al.</i>	Technological innovation systems for microgeneration in the UK and Germany - a functional analysis	2010	Taylor & Francis - Technology Analysis & Strategic Management	0	3
12	Santos, L. L. C. <i>et al.</i>	Impact of new policies of microgeneration and electricity tariff for residential consumers in LV network	2013	IEEE Xplore	0	1

(conclusão)						
It	Autores	Título do artigo	Ano de publicação	Plataforma	Bola de neve para trás (1)	Bola de neve para frente (1)
13	Schaube, P.; Ise, A.; Clementi, L.	Distributed photovoltaic generation in Argentina: An analysis based on the technical innovation system framework	2022	Elsevier - Technology in Society	20	3
14	Shen, H. B. <i>et al.</i>	Carbon-Free Energy and Sustainable Environment: The Role of Human Capital and Technological Revolutions in Attaining SDGs	2021	MDPI - Sustainability	9	0
15	Vazquez, M.; Hallack, M.	The role of regulatory learning in energy transition: The case of solar PV in Brazil	2018	Elsevier - Energy Policy	1	27

Fonte: autoria própria (2024).

2.1.5 Análise e definição do portfólio bola de neve (*corpus* dinâmico)

Posteriormente, na etapa 8, os artigos foram filtrados considerando-se o alinhamento aos objetivos da pesquisa e/ou aos eixos temáticos definidos ou palavras-chave, a partir de leitura flutuante. O portfólio de bola de neve final resultou em 51 artigos distintos e disponíveis, que, somados ao portfólio seminal, totalizaram 66 artigos, compondo, portanto, o *corpus* dinâmico da pesquisa.

2.1.6 Filtragem dos artigos e definição do portfólio do *corpus* estático

A partir dos 66 artigos (*corpus* dinâmico), listou-se o total do referencial bibliográfico utilizado nestes documentos, resultando em 4.715 referências. Ordenando-se essas referências em planilha Excel, por ordem do primeiro autor na referência (autor principal), foram encontrados 3.734 nomes de autores diferentes, que, ordenados de acordo a maior frequência, respeitando-se a frequência mínima de quatro, resultaram em 58 autores principais. O passo seguinte foi identificar quais os artigos dessa listagem continham em suas referências ao menos um dos 58 autores considerados de base. Desta etapa (9) resultaram 19 documentos distintos, considerados como pertencentes ao *corpus* estático (autores e artigos de base), que,

somado ao portfólio seminal e ao portfólio bola de neve (ou seja, o *corpus* dinâmico), totalizou 85 documentos distintos, que compõem o portfólio total desta pesquisa.

Tabela 6 – Processo de revisão sistemática

Fase	Etapa da revisão sistemática	Nº de inclusões/exclusões	Nº de artigos selecionados
Portfólio inicial (1)	1 <i>Strings</i> de pesquisa	–	–
	2 Buscas nas bases (WoS e Scopus)	137	137
	3 Exportação para o ZOTERO	–	–
	4 Relatório Excel	–	–
	5 Artigos duplicados	-20	117
	6 Artigos não disponíveis	-21	96
	7 Leitura flutuante	-72	24
	8 Leitura integral	-9	15
Portfólio bola de neve (2)	9 Bola de neve para trás	48	48
	10 Bola de neve para frente	564	612
	11 Artigos publicados a partir de 2018	-432	180
	12 Leitura flutuante	-70	110
	13 Leitura integral	-59	51
Portfólio literatura base (3)	14 Referencial total dos 51 artigos	4.715	4.715
	15 Artigos mais citados (autores de base)	-4.696	19
Portfólio final (4)	16 Soma dos portfólios 1, 2 e 3	–	85
	17 Artigos publicados entre 2018-2022	-24	61

Fonte: autoria própria (2024).

2.2 Análise da confiabilidade do portfólio

A amostra de artigos que constitui o portfólio bibliográfico foi analisada para a investigação de sua relevância. Para isso, foram identificados os periódicos de cada artigo e a sua qualificação considerando os indexadores CiteScore (Scopus) e Impact Factor (Web of Science – Journal Citation Reports (JCR)), por meio de consulta às bases dos respectivos *sites*, considerando o ano-base 2022. A metodologia do CiteScore leva em conta o número de citações recebidas nos últimos três anos (no caso, 2019-2022) para artigos, resenhas, artigos de conferências, capítulos de livros e artigos de dados, e divide esse número pelo número de publicações do mesmo período, enquanto a do Impact Factor utiliza a razão entre o número de citações do ano corrente (no caso, 2023) e o número de itens publicados no periódico durante os dois anos anteriores (no caso, 2021 e 2022).

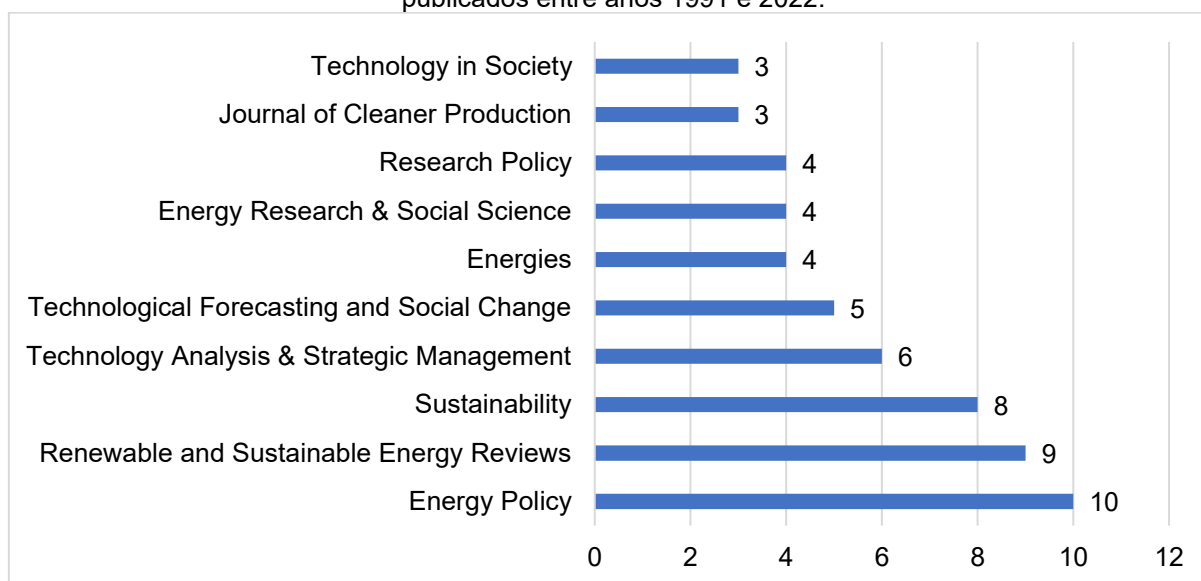
Os documentos foram também avaliados a partir do número de suas citações até o ano 2022, utilizando como base de consulta a ferramenta Google Scholar, destacando-se, entre os documentos mais citados, seis de nove autores basilares do

SIT: Bergek *et al.*, 2008; Carlsson; Stankiewicz, 1991; Hekkert *et al.*, 2007; Huenteler *et al.*, 2016; Jacobsson; Johnson, 2000; Markard; Truffer, 2008; Suurs; Hekkert, 2009.

Da análise dos periódicos identificou-se que oito documentos não possuem avaliação nas bases Web of Science (Impact Factor) ou Scopus (CiteScore). Trata-se de capítulos de livros: Bergek (2019); Eusébio; Sousa; Neves (2016); Johnson; Jacobsson (2001); e Keay; Rhys; Robinson (2014); e de artigos escritos para eventos: Andreao *et al.* (2017); Fiuza *et al.* (2022); Mendes; Sthel; Lima (2020); e Santos; Bernardon; Abaide (2013).

Os 85 artigos que compõem o portfólio total desta pesquisa foram publicados em 50 periódicos distintos, o que demonstra o interesse nesta área de pesquisa. São considerados periódicos de relevância para esta pesquisa aqueles que publicaram o maior número de artigos do portfólio bibliográfico. A Figura 1 indica os dez periódicos acadêmicos com maior número de publicações, com destaque para o Energy Policy (n=10), Renewable and Sustainable Energy Reviews (n=9) e Sustainability (n=8). Esses três periódicos mais prolíficos representam 31% dos registros analisados.

Figura 1 – Principais periódicos para os temas GD, FV e sistemas de inovação para documentos publicados entre anos 1991 e 2022.



Fonte: autoria própria (2024).

Destacam-se, pela frequência, 13 periódicos com no mínimo duas publicações e que juntos representam 75% desta amostra. A Tabela 7 apresenta a classificação desses periódicos, considerando sua posição dentro da amostra do portfólio final desta pesquisa.

Tabela 7 – Classificação da relevância dos periódicos - número de citações entre 2019 e 2023.

Periódico	Impact Factor	Ranking	Cite Score	Ranking
Renewable and Sustainable Energy Reviews	15,9	1º	26,3	1º
Technological Forecasting and Social Change	12	2º	17,2	5º
Sustainable Cities and Society	11,7	3º	18,4	3º
Journal of Cleaner Production	11,1	4º	18,5	2º
Technology in Society	9,2	5º	-	-
Energy Policy	9	6º	15,2	7º
Renewable Energy	8,7	7º	16,1	6º
Energy Strategy Reviews	8,2	8º	-	-
Sustainable Energy Technologies and Assessments	8	9º	-	-
Transportation Research Part D: Transport and Environment	7,6	10º	12,3	10º
Global Transitions	-	-	17,8	4º
Research Policy	-	-	15,1	8º
Environmental Innovation and Societal Transitions	-	-	13,1	9º

Fonte: autoria própria (2024).

Destacam-se as revistas *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Technological Forecasting and Social Change* e *Journal of Cleaner Production*, com fator de relevância entre os cinco primeiros lugares desta amostra, nas duas bases pesquisadas (Impact Factor e CiteScore).

Analisaram-se ainda os autores mais relevantes do portfólio bibliográfico, relacionados aos 19 artigos resultantes dessa etapa, considerando-se os autores da abordagem funcional e de sistemas de inovação tecnológica – são, portanto, considerados os autores basilares ao se estudar o tema sistemas de inovação tecnológica, conforme o resumo do Quadro 3.

Quadro 3 – Autores basilares em relação ao SIT

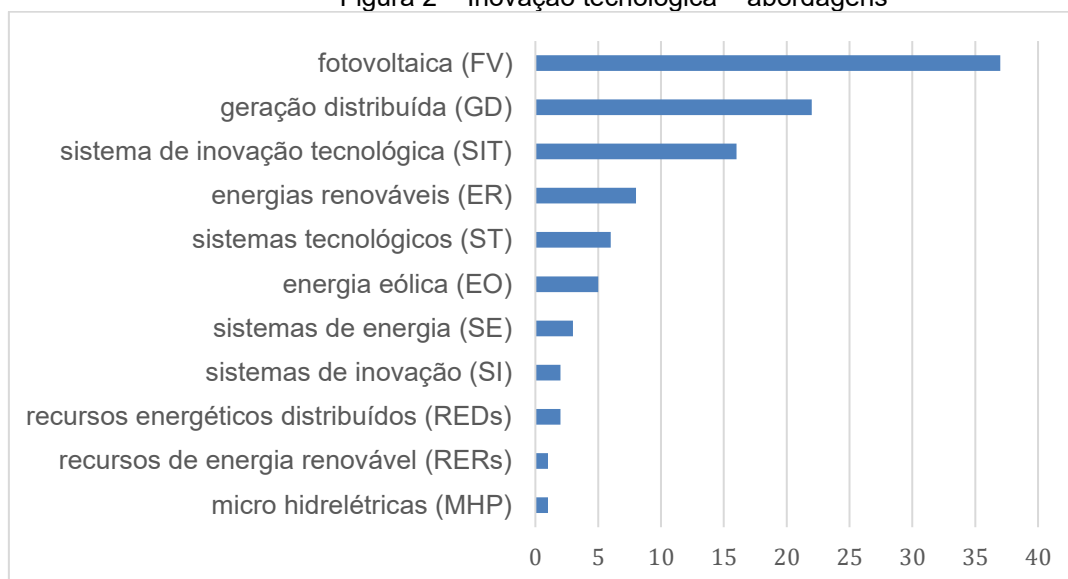
Autor	Área de pesquisa	Instituição	País
Anna Bergek (Johnson)	Política de sistemas e tecnologia de inovação	Universidade de Tecnologia de Chalmers	Suécia
Bengt-Åke Lundvall	Negócios e gestão	Universidade de Aalborg	Dinamarca
Bo Carlsson	Escola de administração	Universidade Western Reserve	USA
Frank W. Geels	Sistemas de inovação	Universidade de Manchester	Inglaterra
Jochen Markard	Inovação no setor de serviços públicos	Instituto Federal de Ciência e Tecnologia	Suíça
Joern Huenteler	Administração, tecnologia e economia	Escola Politécnica	Suíça
Marko P. Hekkert	Dinâmica de sistemas de inovação	Universidade Utrecht	Holanda
Roald A. A. Suurs	Inovação e ciências ambientais	Universidade Utrecht	Holanda
Staffan Jacobsson	Ciência dos materiais	Universidade Uppsala	Suécia
Tobias S. Schmidt	Política de energia e tecnologia	Instituto de Ciência, Tecnologia e Política	Suíça

Fonte: autoria própria (2024).

Estes 10 autores são pesquisadores e/ou professores dedicados às áreas de inovação e tecnologia sob os aspectos das disciplinas de engenharia e de administração de empresas. Preponderantemente, são nascidos e publicam seus trabalhos na Europa (Suécia, Suíça, Holanda, Dinamarca, Holanda e Inglaterra) – apenas um dos autores é norte-americano –, o que parece dar suporte à crítica de que o modelo de SIT seria idealizado para aplicação em países desenvolvidos.

As inovações tecnológicas são tratadas no portfólio sob diferentes conceitos, elencados na Figura 2.

Figura 2 – Inovação tecnológica – abordagens



Fonte: autoria própria (2024).

Além do modelo de SIT, presente em 18% do referencial teórico, outros termos se destacam, apresentando tendências para abordagens de inovações tecnológicas relacionadas à geração distribuída ou à energia fotovoltaica, estando explícitos em 25% e 42% dos artigos, respectivamente. Os demais termos ou conceitos referem-se a outras fontes de energia (energia eólica, hídrica) e a grupos de inovações tecnológicas, como redes de estabelecimentos de referências (RERs) e recursos de energia distribuídos (REDs), que surgiram a partir da evolução do uso das energias renováveis, ligadas principalmente à GD e a fontes solar e eólica.

A seguir, no Quadro 4, são apresentados os documentos que utilizaram em sua pesquisa o modelo de SIT.

Quadro 4 – Aplicação do modelo funcional de avaliação de SIT

Referência	Ano	Conceitos	Local do estudo
(Carlsson ; Stankiewicz, 1991)	1991	Capacidade de desenvolver e explorar novas oportunidades de negócios	Suécia
(Hekkert et al. , 2007)	2007	Estudo da mudança tecnológica	Alemanha
(Bergek et al. , 2008)	2008	Esquema prático de análise para formuladores de políticas	Europa
(Markard; Truffer , 2008)	2008	Estudo da mudança tecnológica	Suécia
(Negro; Hekkert , 2008)	2008	Ciclos virtuosos e crescimento do Sistema	Alemanha
(Suurs; Hekkert , 2009)	2009	Método de análise de histórico de eventos	Holanda
(Wieczorek; Hekkert , 2012)	2012	Estrutura para formuladores de políticas	Holanda
(Bergek et al. , 2015)	2015	Estruturas e dinâmicas de interação	Suécia
(Markard; Hekkert; Jacobsson , 2015)	2015	Estudo de novos campos e indústrias tecnológicas	Suécia
(Kriechbaum; Brent; Posch, 2018)	2018	Análise das barreiras à difusão da energia fotovoltaica	África do Sul
(Bergek; Jacobsson; Sandén , 2008)	2019	Externalidades positivas	Suécia
(Bergek , 2019)	2019	Revisão dos conceitos de SIT	Suécia
(Edsand, 2019)	2019	Abordagem para entender a difusão e o uso de novas tecnologias	Países em desenvolvimento
(Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020a)	2020	Identificação de problemas em SIT	Irã
(Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020b)	2020	Análise funcional combinada a perspectiva multinível (MLP)	Irã
(Schaube; Ise; Clementi, 2022)	2022	Avaliação da GD fotovoltaica	Argentina

Fonte: autoria própria (2024).

Analisando os objetivos desses 16 artigos, que utilizam em sua metodologia a abordagem funcional para sistemas de inovação tecnológica, e relacionando-os ao tempo e aos países em que os estudos foram realizados, é possível deduzir que o modelo funcional de avaliação de SIT pode ser adaptável a diferentes objetivos, campos e cenários. Ressalta-se ainda, a partir dessa amostra, que os objetivos de avaliar os efeitos de mudança tecnológica, mensurar a capacidade da difusão de uma nova tecnologia e servir como ferramenta para formuladores de políticas públicas estão entre as principais utilizações.

O destaque (negrito) no Quadro 4 refere-se a documentos cujos autores são considerados de base do SIT. Destaca-se ainda dois documentos com a aplicação do modelo em sistemas tecnológicos no contexto de países em desenvolvimento, ressaltando a possibilidade de se utilizar a metodologia SIT em GD FV nestes contextos.

2.3 Análise de conteúdo

Seguindo o disposto na terceira parte (organização da análise) do método proposto por Bardin (2021), tem-se que as diferentes fases da análise de conteúdo constituem-se em torno de três polos cronológicos: (a) pré-análise; (b) exploração do material; e (c) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A pré-análise tem por objetivo operacionalizar os elementos iniciais de modo a sistematizar as análises (Bardin, 2021). Nesta pesquisa, esta fase foi desenvolvida durante o levantamento bibliográfico e operacionalizada mediante filtros e critérios executados na busca e constituição do conjunto dos documentos a serem submetidos aos procedimentos analíticos – o *corpus* (Bardin, 2021), compreendendo (entre os filtros e critérios) a leitura flutuante e as regras de pertinência e homogeneidade, conforme prevê Bardin (2021).

Na exploração do material prevê-se a análise do material organizado (Bardin, 2021). Desse modo, o material que compõe a amostra (*corpus* da análise) é submetido a um estudo aprofundado e sistemático (Bardin, 2021). Essa fase consiste basicamente nas operações de codificação e categorização (Bardin, 2021). A codificação permite atingir representação ao conteúdo, esclarecendo ao analista as características do texto (Bardin, 2021). A categorização, por outro lado, consiste em separar os elementos por meio da diferenciação e, em seguida, reagrupá-los por gênero, com base em critérios previamente definidos (Bardin, 2021).

Para o tratamento dos resultados, segundo Bardin (2021), o levantamento bruto dos dados deve ser submetido a verificações e validações. Nesta pesquisa as unidades de registro (UR) resultantes do esforço de análise das relações entre os contextos do portfólio bibliográfico e as funções do SIT forneceram os critérios analíticos, como resultados da pesquisa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são discutidos os temas relacionados aos setores energético e elétrico mundial, ao setor elétrico brasileiro, à energia solar e à energia solar fotovoltaica, à geração distribuída (compreendendo a micro e a minigeração distribuída (MMGD)), aos prossumidores e ao modelo de análise funcional para sistemas de inovação tecnológica.

3.1 Setor energético mundial

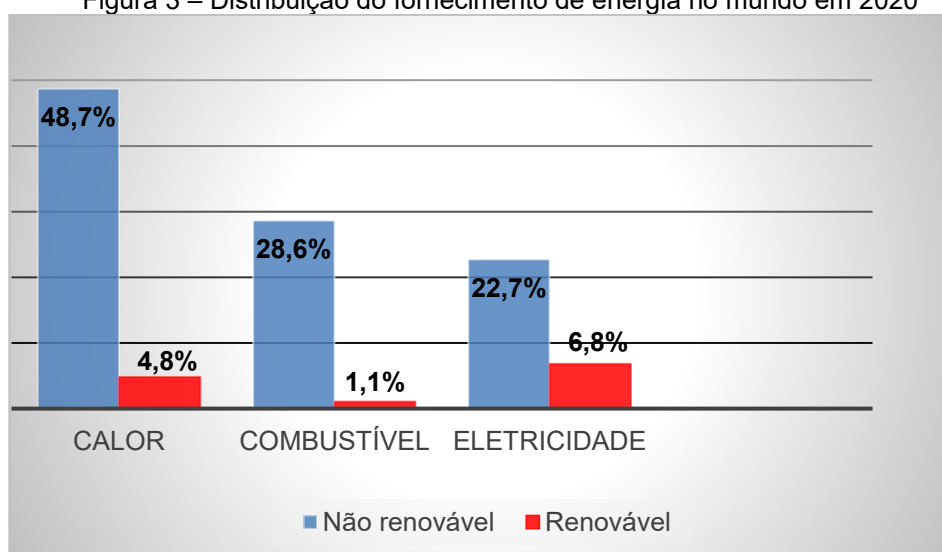
Os desafios energéticos do mundo foram acentuados em fevereiro de 2022, após a invasão da Ucrânia pela Federação Russa (International Energy Agency, 2023a). A crise energética contribuiu para a alta inflação e acabou se tornando um fenômeno global, ainda que os efeitos sejam menos visíveis na Ásia e em algumas outras partes do mundo (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Em resposta, os governos voltaram-se à segurança do abastecimento energético e recorreram às energias renováveis para combater a inflação, as perturbações no fornecimento e a volatilidade dos preços (International Energy Agency, 2022b).

A crise energética mundial e os problemas que a acompanham causaram mudanças significativas no setor de fornecimento de energia (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Isso inclui foco acentuado na segurança energética, a expansão da produção interna de energia, maior cooperação internacional e apoio político às energias renováveis, enfatizando a importância de uma transição rápida para essas fontes de energia (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Isso é realçado por uma série de novas políticas relacionadas à energia, como a Lei de Redução da Inflação, dos EUA, que oferece subsídios destinados a impulsionar a produção nacional de energia renovável e a instalação de tecnologias renováveis, e o plano REPowerEU, da União Europeia (UE), que visa reduzir a disparidade entre a oferta e a demanda de energia renovável regional (Badlam; Cox, 2022).

Os dados da geração global de energias – calor, combustível e eletricidade (Figura 3) – revelam *insights* importantes sobre o *status* da transição de energia renovável (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). A maior

parte da energia mundial é fornecida na forma de calor direto, que representou 48,7% do total, em 2020 (International Energy Agency, 2023b). Seguiram-se os combustíveis – incluindo combustíveis líquidos e gasosos utilizados nos transportes – que representaram 29% do total (International Energy Agency, 2023b), enquanto a participação da eletricidade (inclusive para aquecimento e transporte) no suprimento global de energia tem aumentado constantemente, passando de 19% em 2010 para 23% em 2020, refletindo a crescente dependência dessa energia para atender às necessidades em todos os setores de uso final (International Energy Agency, 2023b).

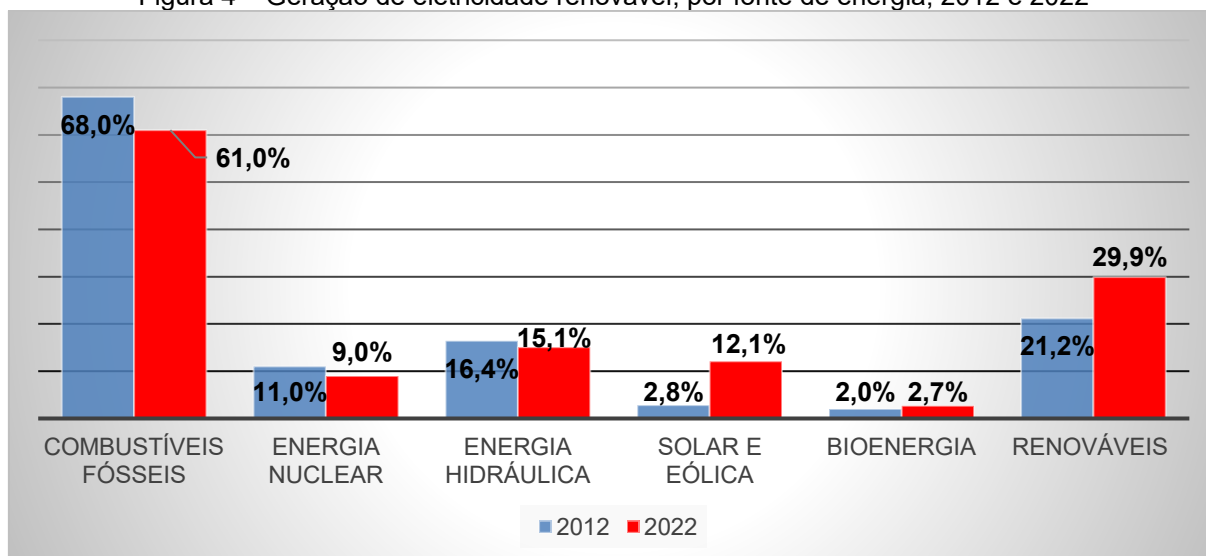
Figura 3 – Distribuição do fornecimento de energia no mundo em 2020



Fonte: Adaptado de balanço energético mundial, da International Energy Agency (2023b).

O *status* energético global em 2020 apresentou 43% da energia mundial provindo de fontes renováveis. Porém, pode-se destacar que há uma tendência de crescimento na utilização do uso dessas fontes, impulsionada pelo setor de energia elétrica, que contribuiu com quase um terço (30%) da produção global de eletricidade (participação em energia renovável) em 2022 (International Energy Agency, 2023b), conforme destacado na Figura 4.

Figura 4 – Geração de eletricidade renovável, por fonte de energia, 2012 e 2022



Fonte: Adaptado de balanço energético mundial, da International Energy Agency (2023b).

Em relação a fontes de calor, o progresso tem sido relativamente mais lento, com a participação das energias renováveis modernas aumentando 2,6 pontos percentuais na última década, de 8,9% em 2010 para 11,5% em 2020 (International Energy Agency, 2023b). Já para os combustíveis, os biocombustíveis representaram quase totalmente os combustíveis renováveis e forneceram 3,6% da oferta total de combustíveis em 2020, contra 2,3% em 2010 (International Energy Agency, 2023b).

O desenvolvimento das energias renováveis no setor da energia elétrica é o resultado de uma maior atenção política (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Em 2022, 174 países tinham metas para compartilhamentos de energia renovável (incluindo 37 países com metas para 100% de eletricidade renovável), 49 países tinham metas para biocombustíveis e 46 países tinham metas para fontes de calor renováveis, com apenas, respectivamente, nove e três novas metas para biocombustíveis e fontes de calor renováveis sendo anunciadas em 2022 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Globalmente, a China liderou os investimentos em energia renovável em 2022, representando 55% do total (BloombergNEF, 2023), seguida pela Europa, com 11%, e pelos Estados Unidos, com 10% (International Energy Agency, 2021). Na Europa, a participação das energias renováveis na geração total de eletricidade aumentou de 25% em 2012 para 36% em 2022 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023), enquanto a energia eólica representou 11% da geração total nesse continente em 2022 (contra

4% em 2012) e a energia solar representou 5% (contra 1,5% em 2012) (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023).

A geração global de eletricidade renovável da região ficou estável, refletindo o crescimento oposto em todas as tecnologias (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century; 2023). Já a geração a partir de energia hidrelétrica, fortemente afetada por secas e escassez de água, caiu 11,5% em relação a 2021, enquanto a geração a partir de energia solar fotovoltaica cresceu um recorde de 21,6% (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023).

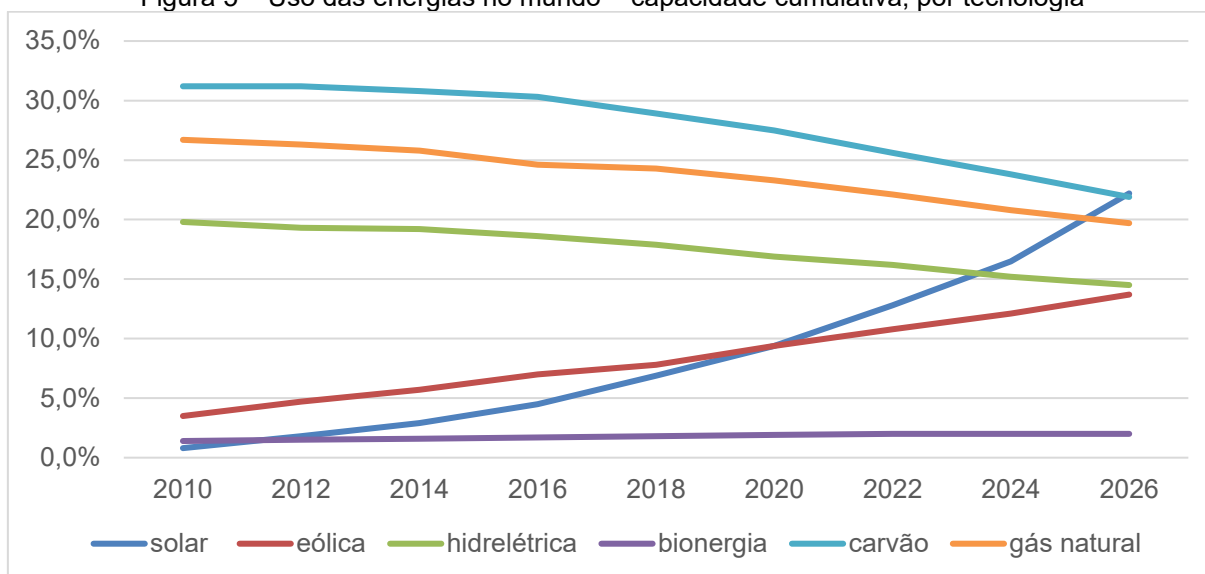
3.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica (ESFV), ou seja, a radiação solar captada por meio de painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade, é considerada um dos mercados mais promissores no portfólio de energias renováveis, devido ao seu potencial de mitigar o aquecimento global e de atender às metas de redução de emissões de CO₂ impostas por governos nacionais e acordos internacionais (Franco; Groesser, 2021).

Em 2018 a capacidade fotovoltaica instalada cumulativa global atingiu quase 480 Gigawatts (GW), representando cerca de 2% da produção mundial de eletricidade (International Renewable Energy Agency, 2022). E, até 2030, estima-se que a capacidade global poderá chegar a 2.840 GW, enquanto em 2050 poderá chegar a 8.500 GW (International Renewable Energy Agency, 2019). Segundo a International Energy Agency (2022a), a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica irá superar a do carvão até 2027, tornando-se a maior do mundo. Na

Figura 5 é possível visualizar o comportamento, no tempo, do uso das fontes energéticas, com destaque à energia solar.

Figura 5 – Uso das energias no mundo – capacidade cumulativa, por tecnologia



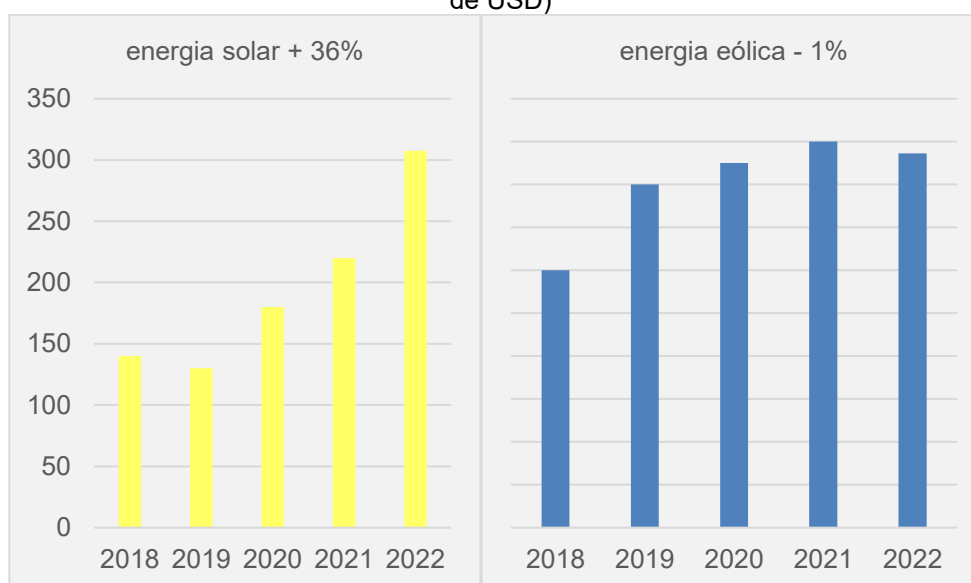
Fonte: International Energy Agency, 2022b.

A maioria dos países tem em vigor amplas metas nacionais de energia renovável para o setor de energia (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Em 2022, a Bolívia, o Chile, a União Europeia (EU) e o Canadá anunciaram metas para energias renováveis na geração de eletricidade, elevando o número total de metas para pelo menos 174, contra 135 em 2021, indicando a dedicação desses Estados à transição energética (International Energy Agency, 2023b). Essas políticas de energia se concentram principalmente na capacidade de energia solar fotovoltaica e eólica, destacando-se com altos níveis de investimento em comparação com outras tecnologias renováveis (International Energy Agency, 2023b). As políticas relativas à energia renovável incluem metas, padrões de portfólio renovável, certificados de energia renovável ou garantias de origem, *feed-in tariffs* (contratos de oferta padrão, tarifas renováveis avançadas ou pagamentos de energias renováveis), leilões e licitações, medição líquida (juntamente com outras políticas que incentivam o autoconsumo) e incentivos fiscais e financeiros, como subvenções, descontos e créditos fiscais (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023).

No mesmo período, a energia solar fotovoltaica e a energia eólica continuaram a dominar os novos investimentos em energias renováveis, com a energia solar fotovoltaica representando 62% do total em 2022 e a eólica, 35% (ver Figura 6) (Bloomberg NEF, 2023). O forte crescimento do investimento em energia solar

fotovoltaica de 2021 expandiu em 2022, subindo quase 36% e atingindo US\$ 307,5 bilhões (Bloomberg NEF, 2023), enquanto o investimento em energia eólica caiu 1,3%, para US\$ 174,5 bilhões, reflexo das incertezas políticas, das longas e complexas regulamentações de licenciamento em muitos países e da alta inflação nos custos dos insumos (Wind Europe, 2023).

Figura 6 – Investimento global em energia renovável, por tecnologia – 2018-2022 (valores em bilhões de USD)



Fonte: adaptado de BloombergNEF (2023).

Na Europa, o investimento em projetos de energia renovável caiu 26%, para US\$ 55,9 bilhões em 2022 (Bloomberg NEF, 2023). Esse declínio reflete os desafios relacionados à inflação, além das intervenções nos mercados de eletricidade, que estabelecem limites de receita para várias tecnologias, diminuindo a confiança dos investidores em insumos (Wind Europe, 2023). Apesar desses problemas, alguns países europeus aumentaram significativamente seus investimentos em energias renováveis. Por exemplo, o investimento em energias renováveis na Itália aumentou 53,2%, para US\$ 3,69 bilhões, e, na Espanha, 36,3%, para US\$ 10,5 bilhões (Bloomberg NEF, 2023). Bulgária, Estônia e Romênia também registraram crescimento, embora partindo de uma base muito mais reduzida (Bloomberg NEF, 2023).

Na Ásia e na Oceania (excluindo China e Índia), o investimento em renováveis caiu 7,7%, para US\$ 53,8 bilhões (Bloomberg NEF, 2023). Esse declínio reflete os decréscimos no Japão (menos 29,4%, para 12,5 bilhões de dólares) e na República

da Coreia (menos 4,2%, para 6,7 bilhões de dólares) (Bloomberg NEF, 2023). Embora o investimento em energia solar fotovoltaica na região tenha crescido ligeiramente (3,4%, para US\$ 39,8 bilhões) em 2022, não ficou nem perto dos níveis de 2020 (Bloomberg NEF, 2023). Um fator que contribuiu a isso foi o declínio contínuo no investimento em energia solar fotovoltaica no Vietnã, o maior mercado dessa energia da região, motivado pela descontinuação da *feed-in tariff* no país, no final de 2020 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023).

O investimento total do Brasil em renováveis subiu 18,3%, para US\$ 14,8 bilhões (Bloomberg NEF, 2023). Continuando o crescimento de 2021, o investimento em energia solar fotovoltaica aumentou 23,7% em 2022, comparados a 14,5% de aumento em energia eólica, enquanto os investimentos em todas as outras tecnologias de energia renovável estagnaram ou diminuíram (Bloomberg NEF, 2023). Os investimentos em energia solar fotovoltaica em telhados foram mantidos, antes da revisão da legislação que passou a prever a introdução gradual de taxas de acesso à rede para proprietários de sistemas residenciais e comerciais, vigente desde junho de 2023 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century; 2023).

O caos na economia econômica e financeira da Argentina, juntamente com problemas na infraestrutura de transmissão, são os principais fatores que reduziram significativamente o nível de novos investimentos em energia renovável nesse país (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023). Já o Chile continua sendo um destino-chave para novos investimentos em energia renovável na região, apesar dos níveis relativamente mais baixos gastos em 2022, enquanto a Colômbia emergiu como um novo e importante mercado para investimentos em energia eólica e solar (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023).

Do lado da oferta, as tecnologias eólicas e solar experimentaram um rápido crescimento nos últimos anos, disponibilizando grandes quantidades de eletricidade limpa em sistemas de energia (International Renewable Energy Agency, 2023). Apesar dos atuais custos de investimento mais altos devido aos preços elevados das *commodities*, a energia solar fotovoltaica é a opção menos dispendiosa para a geração de eletricidade em grande escala na maioria dos países (International Energy Agency, 2022b). Ainda segundo a International Energy Agency (IEA), é previsto um crescimento da energia solar fotovoltaica distribuída, como resultado dos preços mais altos da eletricidade no varejo e do crescente apoio de políticas que buscam reduzir o

preço da energia para os consumidores (International Energy Agency, 2022b). Porém, levando em conta a vida útil média de um painel fotovoltaico, de 25 anos, pode-se esperar que o crescimento acelerado na implantação desses dispositivos seja traduzido em um aumento exponencial de resíduos fotovoltaicos nos próximos anos. As projeções de resíduos de painéis fotovoltaicos, de fato, mostram que entre 1,7–8 e 60–78 milhões de toneladas de resíduos estarão em aterros até 2030 e 2050, respectivamente (International Renewable Energy Agency, 2016).

Assim, uma visão circular do ciclo de vida é necessária para reduzir o desperdício na indústria fotovoltaica (Franco; Groesser, 2021). Para alcançar esse objetivo, toda a cadeia de valor fotovoltaica precisará ser alterada, desde o desenvolvimento do produto e até o período após sua vida útil, e isso exigirá a cooperação de várias partes interessadas, incluindo governos, empresas, clientes e instituições acadêmicas (Franco; Groesser, 2021).

Verifica-se assim a necessidade da intervenção governamental (Franco; Groesser, 2021), como por exemplo na implementação de sistemas de monitoramento e relatórios, nos âmbitos nacional e regional, para a identificação e gestão de fluxos atuais e futuros de resíduos fotovoltaicos. (Franco; Groesser, 2021; Mahmoudi *et al.*, 2019), e da estratégia da logística reversa a partir áreas geograficamente próximas à centros de reciclagem (Franco; Groesser, 2021).

Na fase inicial da cadeia de valor PV, os esforços passam pelo investimento em P&D, concentrados principalmente no desenvolvimento de novos materiais e melhorias na eficiência celular (ou seja, nos processos de produção dos painéis fotovoltaicos), bem como no maquinário especializado e robótica para fabricação (Hipp; Binz, 2020). Como exemplo, a espessura da camada em um módulo de CdTe (telureto de cádmio) pode ser reduzida para cerca de 1,0 μ m, resultando ganho de eficiência de aproximadamente 18% (Woodhouse *et al.*, 2012).

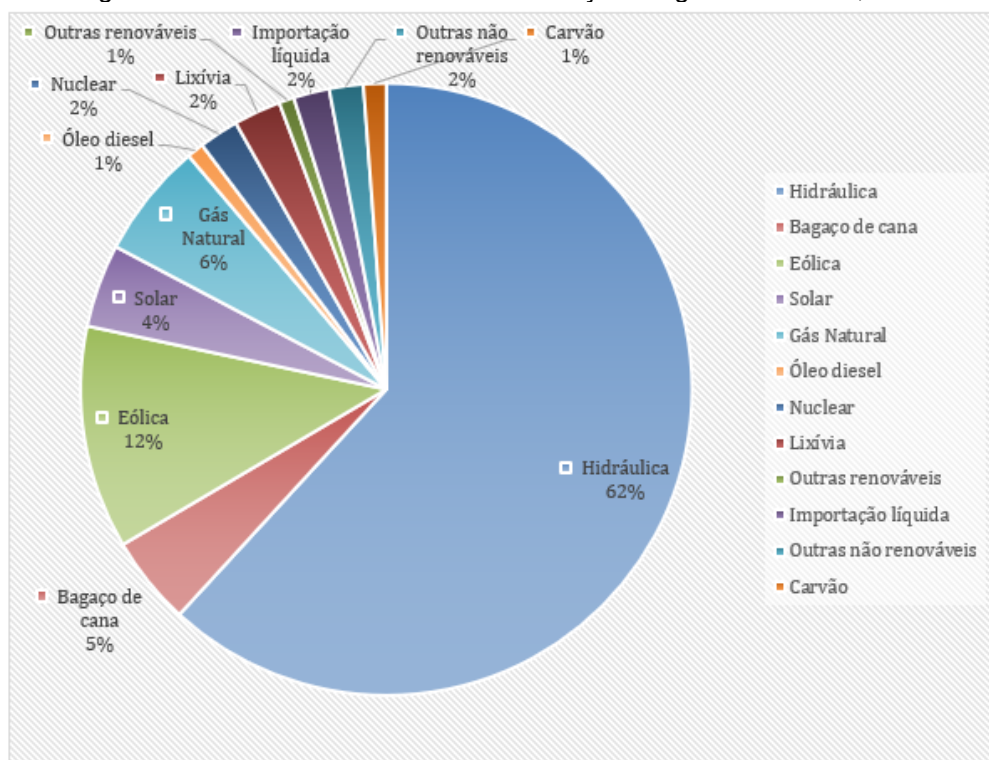
Além da ênfase em melhorias de eficiência, os esforços de pesquisa também devem ser direcionadas as estratégias de *design* ecológico para PV, para garantir por exemplo, que os módulos sejam construídos considerando que a sua delaminação permita a recuperação dos seus componentes (como as pastilhas de silício) (Franco; Groesser, 2021). A reutilização ou a reciclagem e a circularidade da indústria PV pode revelar oportunidades para diferentes partes interessadas ao longo da cadeia de valor de PV (Franco; Groesser, 2021).

A Agenda 2030 das Nações Unidas visa aliviar a pobreza e garantir o bem-estar para todos, reconhecendo a energia como um componente essencial para atingir os objetivos de sustentabilidade ambiental, desenvolvimento humano e crescimento econômico sustentável. Questões ambientais e sociais afetam diversos setores, como o energético, o industrial, de transportes e agricultura, e requerem transições ou mudanças em tecnologias, políticas públicas, modelos de negócios e até mesmo no dia a dia das pessoas (Nevzorova; Karakaya, 2020). O caminho para o futuro sem carbono depende da inovação, e se concentra na forma como a energia é produzida (oferta) e consumida (demanda) (International Renewable Energy Agency, 2023).

3.3 Setor elétrico brasileiro

O Brasil está entre os países líderes em capacidade instalada de energia renovável no mundo. A capacidade total instalada no Brasil atingiu 181,6 GW em 2021 (Empresa de Pesquisa Energética, 2023) e, assim como em 2020, o destaque são as plantas de geração fotovoltaicas, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022. O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável (88%), conforme a Figura 7, com destaque para a fonte hídrica, que representou, em 2022, 62% da oferta interna de energia elétrica (Empresa de Pesquisa Energética, 2023).

Figura 7 – Matriz elétrica brasileira – Balanço Energético Nacional, 2022

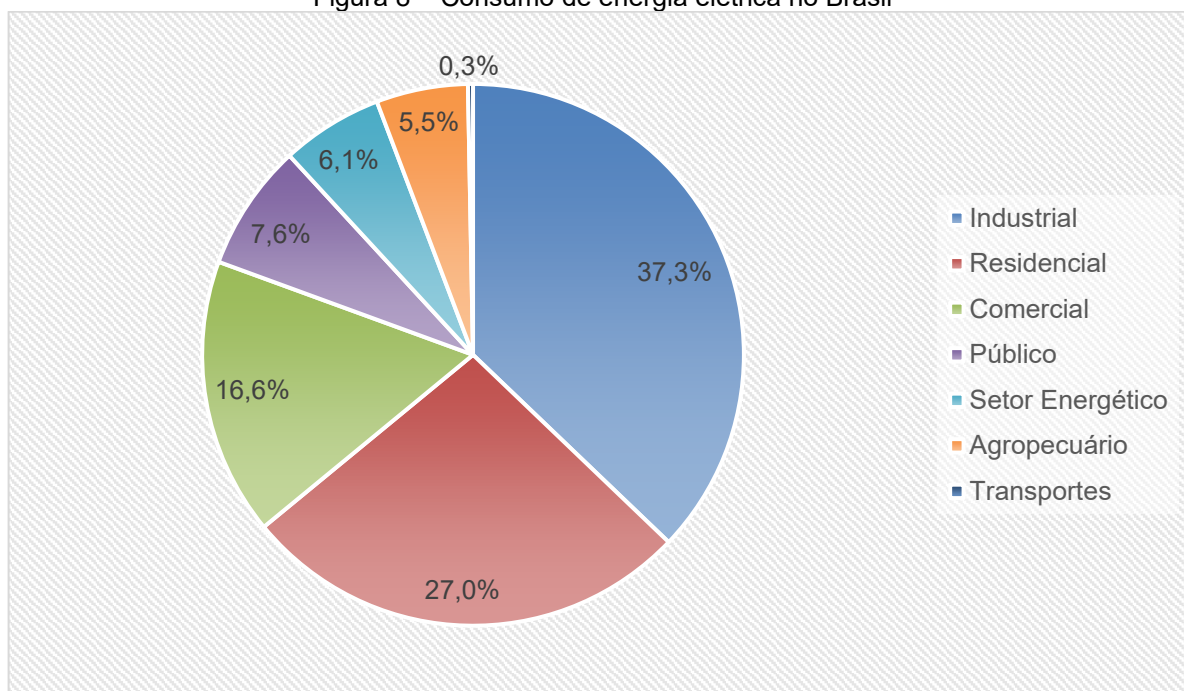


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023, p. 35).

O consumo nacional, no ano 2022, foi de 586,1 Terawatts-hora (TWh), representando uma expansão de 2,3% em comparação ao ano anterior, com destaque para os setores industrial e residencial, que participaram, respectivamente, com 37% e 27% da demanda.

Na Figura 8, é possível verificar o consumo de energia elétrica brasileira dividida por setores.

Figura 8 – Consumo de energia elétrica no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023, p. 23).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2029 estabeleceu metas para reduzir a demanda de energia elétrica com base na eficiência energética e enfrentar o desafio de atender à economia de 10% de energia até 2030 (Brasil, 2020, p. 223). De acordo com esse plano e com relatório de autoria da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entidade que presta serviços de pesquisa ao Ministério de Minas e Energia (MME) para subsidiar o planejamento do setor energético, a inserção eficiente dos recursos de energia distribuídos, aliada à digitalização do setor, tem “potencial disruptivo no setor energético mundial” (Empresa de Pesquisa Energética, 2018, p.3). Concomitantemente, a abertura do mercado de energia é considerada essencial para viabilizar esta mudança no setor elétrico (Brasil, 2020).

Com a Lei no 14.300, promulgada em 2022, empreendedores de micro e minigeração passam a ter mais segurança jurídica (Brasil, 2022), e cria-se um marco legal para a microgeração e minigeração distribuída, o qual proporciona aos prosumidores o atual regime de compensação energética por 25 anos (Martins; Branco; Hallack, 2022). A lei permite o uso de tecnologias de armazenamento na rede de distribuição e às distribuidoras que contratam serviços ancilares para postergar investimentos na rede (Fiuza *et al.*, 2022). A lei mencionada, que resultou do Projeto de Lei no 5.829/2019, também estende os custos e taxas de uso dos sistemas de

transmissão e distribuição para micros e minigeradores de energia elétrica (Fiuza *et al.*, 2022). A proposta aprovada prevê a inclusão da cobrança gradual da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) Fio B² pelas unidades consumidoras que possuam GD (Fiuza *et al.*, 2022).

Entre as principais mudanças, as distribuidoras de energia podem se beneficiar com a possibilidade de venda de excedentes de energia elétrica, por meio de chamadas públicas, da contratação de serviços ancilares e da limitação de potência de minigeração distribuída para fontes não despacháveis (Fiuza *et al.*, 2022).

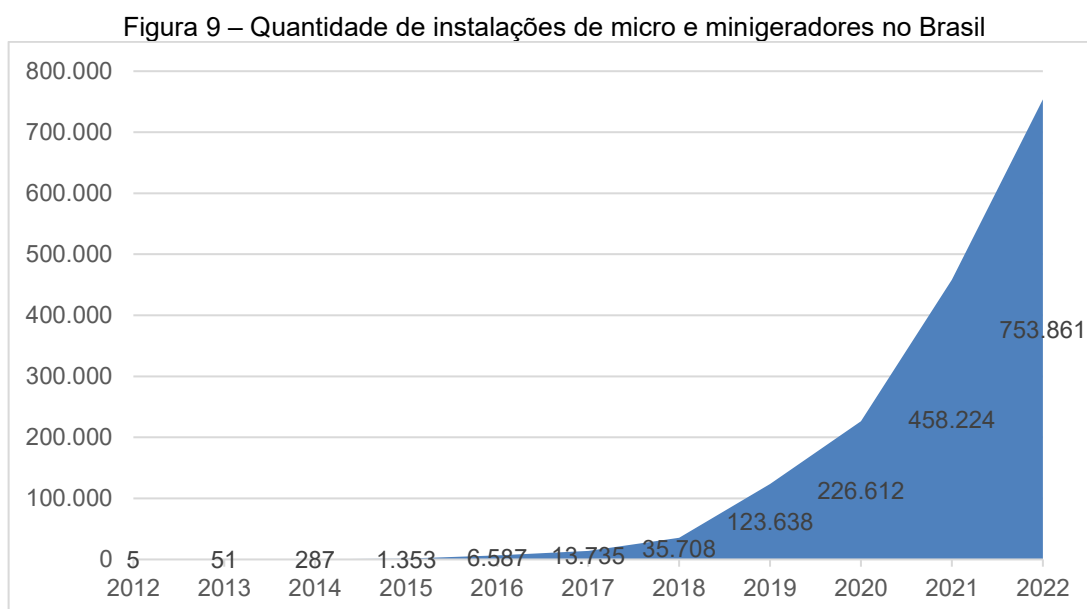
Desde a publicação da Lei 14.300, em sete de janeiro de 2022, já foram efetivadas pelas distribuidoras de todo o Brasil mais de 780 mil conexões de micro e minigeração distribuída, totalizando mais de 7,6 GW de potência instalada (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023a). Esses números representam um aumento de 60% em relação ao número de conexões e de 54% em relação à potência instalada, comparados ao verificado nos 13 meses anteriores à publicação da lei (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023a). De todo o histórico registrado desde 2009, 47% das conexões e 44% da potência instalada ocorreram após a publicação da Lei (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023a).

De acordo com o Balanço Energético Nacional, ano-base 2022, a micro e a minigeração distribuída de energia elétrica tiveram seu crescimento incentivado por ações regulatórias, tais como o *net metering*, sistema de compensação de energia elétrica em que o consumidor-gerador (ou prosumidor), após descontado o seu consumo, recebe créditos pelo excedente de energia gerada e inserida na rede (Empresa de Pesquisa Energética, 2023; Fundação Getúlio Vargas, 2016). Em 2022, a micro e a minigeração distribuída atingiram 18.423 Gigawatts-hora (GWh), com uma potência instalada de 17.325 Megawatts (MW), destacando-se a fonte solar fotovoltaica, com 17.378 GWh e 17.006 MW, respectivamente, de geração e potência instaladas (Empresa de Pesquisa Energética, 2023). A Figura 9 apresenta a evolução do número de instalações de micro e minigeradores no Brasil. O sistema de *net metering*, contudo, causa controvérsia. Pelo lado dos prosumidores, os argumentos

² TUSD Fio B refere-se aos “custos vinculados a [sic] utilização da infraestrutura da rede de distribuição da concessionária local até as residências, comércios, indústrias e propriedades rurais”, enquanto TUSD Fio A refere-se aos “custos vinculados à manutenção e operação das linhas de transmissão”. Cf. MARQUES, R. Entendendo a Tarifação do Fio B previsto na Lei 14.300. **Canal Solar**, [s. l.], 18/01/2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/tarifacao-do-fio-b-previsto-na-lei-14-300/>. Acesso em: 30 nov. 2023.

são os benefícios como a redução de emissões de gases poluentes devido à maior utilização de fontes renováveis; porém pelo lado dos consumidores e das distribuidoras, argumenta-se que, devido ao desenho tarifário atual, os custos de manter a rede como “*backup*” para a GD não são distribuídos proporcionalmente para os prosumidores (Fundação Getulio Vargas, 2016).

Desse modo, o surgimento de prosumidores, a redução dos custos de armazenamento de energia e a possibilidade futura de desconexão da rede ameaçam a sustentabilidade dos distribuidores no longo prazo, o que, para Martins, Branco e Hallack (2022), torna o reequilíbrio do sistema elétrico um desafio.



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2023b).

Desde 2012, com a Resolução Normativa nº 482/2012, a micro e a minigeração distribuídas aumentaram significativamente, ultrapassando, no país, os sete GW em 2021 (Martins; Branco; Hallack, 2022). A MMGD apresentou, em 2022, crescimento de 61% em relação ao ano anterior, chegando ao patamar de 750 mil sistemas instalados, com uma curva ascendente ao longo dos últimos 10 anos (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023c).

A ANEEL contabilizou, desde 2009 até o dia 03 de janeiro de 2024, uma potência instalada de mais de 25,8 GW em sistemas de MMGD conectados à rede de distribuição (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024). O que representa 2,3 milhões de sistemas, instalados em 5.545 municípios, beneficiando aproximadamente

3,3 milhões de unidades consumidoras, com a possibilidade de utilizar créditos para abatimento em sua fatura de energia elétrica mensalmente (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024).

Minas Gerais é o estado com a maior quantidade de potência instalada em micro e minigeração distribuída, com 3,50 GW instalados e 269 mil sistemas, seguido por São Paulo com 3,47 GW instalados em 368 mil sistemas, e o estado do Rio Grande do Sul é o terceiro com 2,60 GW e 288 mil sistemas instalados (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024).

3.4 Geração distribuída

A evolução da tecnologia digital, a redução dos custos das energias renováveis descentralizadas e a disseminação dos recursos de energia distribuídos possibilitam a mudança no papel dos consumidores no mercado de energia elétrica (Martins; Branco; Hallack, 2022), com a economia digital rompendo com o antigo paradigma do consumidor participante passivo da rede e desenvolvendo o conceito de prosumidor (Martins; Branco; Hallack, 2022).

O modelo tradicional de geração centralizada era considerado, há mais de um século, a forma mais eficiente de obter e transportar eletricidade com segurança e estabilidade (Martins; Branco; Hallack, 2022). Nesse modelo, a eletricidade gerada é fornecida, mediante transmissores e distribuidores, aos usuários finais (Martins; Branco; Hallack, 2022), e os mecanismos regulatórios de tarifas e medição são criados para cobrar os usuários por meio de tarifas unidirecionais e monomiais (ou seja, calculadas tão somente em função de um valor-base multiplicado por um certo consumo) (Martins; Branco; Hallack, 2022). Essa geração centralizada é caracterizada por grandes usinas de produção de energia elétrica, principalmente hidrelétricas ou termelétricas, localizadas geralmente longe do local de consumo e dependentes de linhas de transmissão (Costa *et al.*, 2022).

A lógica da geração distribuída é oposta, com a eletricidade sendo gerada próximo ao consumidor (descentralizadamente), a partir de fontes renováveis ou não renováveis ou ainda de cogeração qualificada, com a possibilidade de inserir, na rede de distribuição local, o excedente produzido (Costa *et al.*, 2022). Para além dos benefícios econômicos, a geração distribuída de energia elétrica é também uma opção viável sob o ponto de vista ambiental, pois aumenta a eficiência na utilização dos

recursos naturais, mitigando assim os impactos ambientais provenientes da geração centralizada (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019; Mendes; Sthel; Lima, 2020; Teixeira, 2006). Dessa forma, ao reunir benefícios e adequar-se ao mercado de energia (Teixeira, 2006), a GD passou a fazer parte dos planejamentos estratégicos para a expansão dos sistemas elétricos e/ou sistemas energéticos (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019).

Em relação à fonte de energia primária utilizada na GD, ela pode ser renovável ou não renovável (Mendes; Sthel; Lima, 2020). Dentre as fontes não renováveis destaca-se o gás natural, utilizado em microturbinas e em motores alternativos de combustão interna (Mendes; Sthel; Lima, 2020), enquanto as fontes renováveis são representadas pelos recursos hídricos utilizado em pequenas centrais hidroelétricas, pela energia eólica, pela biomassa utilizada em termelétricas, pelo biogás utilizado em microturbinas e pela energia solar fotovoltaica (Allan *et al.*, 2015; Carley, 2009).

Apesar de a descentralização apresentar oportunidades técnicas, ambientais e sociais (Roth *et al.*, 2018), ao mesmo tempo representa desafios de governança (Cherp; Jewell; Goldthau, 2011). A descentralização é assim uma característica que define a transição energética em curso, alimentada pela queda nos custos de tecnologia, crescente preocupação com a mudança climática e oportunidades de inovação social (International Energy Agency; 2018).

3.5 Conceitos, estrutura e dinâmica do sistema de inovação tecnológica

A seguir são apresentados os principais conceitos aplicados à abordagem teórica do sistema de inovação tecnológica, sua estrutura e proposta de aplicação.

3.5.1 Inovação tecnológica

A ideia de que uma variedade, operando sob algum mecanismo, como um mercado, impulsiona a mudança econômica, e de que a inovação tecnológica é a principal fonte de variedade econômica de longo prazo, existe há muito tempo (Carlsson; Stankiewicz, 1991), assim como a ideia de que aumentar a velocidade da inovação é um fator determinante para o crescimento e o desenvolvimento econômico (Hekkert *et al.*, 2007). Porém, aumentar a velocidade ou influenciar a direção do processo de inovação em nível nacional é algo altamente complexo (Hekkert *et al.*, 2007). Além disso, moldar processos de inovação deve considerar que o uso de

tecnologias costuma gerar graves efeitos colaterais negativos, e não apenas a vantagem do crescimento econômico e de benefícios sociais (Hekkert *et al.*, 2007). Muitas vezes, esses efeitos colaterais estão relacionados ao impacto da tecnologia no ambiente natural (Hekkert *et al.*, 2007).

Assim, para Hekkert *et al.* (2007), a relação entre tecnologia e meio ambiente torna-se complexa e paradoxal, pois se, por um lado, as tecnologias usam recursos e impõem estresse ambiental, por outro, podem levar ao uso mais eficiente dos recursos naturais.

3.5.2 Sistemas de inovação

O conceito de sistemas de inovação (SI) está relacionado a investigações em subsistemas sociais, compreendendo atores e instituições, que contribuem de algum modo para o surgimento ou produção de inovação (Hekkert *et al.*, 2007). Como exemplo de um SI, Hekkert *et al.* (2007) citam o desenvolvimento e a difusão de células solares, que dependem do progresso tecnológico feito em institutos de pesquisa e universidades em todo o mundo. De acordo com os autores, a sua difusão global dependerá fortemente de diferentes regimes de políticas nacionais que estimulem a adoção de células solares por meio de subsídios ao investimento (Hekkert *et al.*, 2007). Além disso, dependerá de matérias-primas como o silício, sujeitas a escassez e variação de preços, e, neste caso particular, dependerá ainda fortemente do setor habitacional, incluindo a arquitetura, que precisará ser compatível com os painéis de células solares (Hekkert *et al.*, 2007). Logo, o progresso tecnológico, o preço e a difusão de uma tecnologia são influenciados pelos vários sistemas nacionais de inovação e pela inovação setorial (Hekkert *et al.*, 2007).

A abordagem de sistemas para a inovação é frequentemente vista como uma alternativa mais adequada por pesquisadores e formuladores de políticas interessados nos processos subjacentes à inovação, transformação industrial e crescimento econômico (Bergek *et al.*, 2008; Esmailzadeh *et al.*, 2020b), sendo adotada por autoridades/agências regionais, nacionais e internacionais interessadas em estimular esses processos (Bergek *et al.*, 2008). A estrutura dos SI alcançou ampla difusão entre os estudiosos da inovação, especialmente aqueles interessados em transições sustentáveis (Bergek, 2019).

A abordagem sistêmica das inovações provou ser instrumental para informar

uma ampla gama de problemas prementes de políticas públicas, como competitividade econômica nacional, renascimento industrial regional e sustentabilidade ambiental global (Bergek *et al.*, 2015). Desde o surgimento da abordagem dos sistemas de inovação como um estruturas analíticas, em meados da década de 1980, várias abordagens de SI foram desenvolvidas e são amplamente abordadas na literatura (Edsands, 2019).

As abordagens de SI incluem o sistema nacional de inovação (SNI) (Freeman, 1987; Lundvall, 1993), o sistema regional de inovação (SRI) (Cooke; Uranga; Etxebarria, 1997), o sistema setorial de inovação (SSI) (Breschi; Malerba, 1997) e o sistema de inovação tecnológica (Carlsson; Stankiewicz, 1991). O SNI e o SRI concentram-se em uma área geográfica e o SSI em um setor industrial (Hekkert *et al.*, 2007). A variante específica dos sistemas de inovação tecnológica se concentra na compreensão do sistema de inovação em torno de uma determinada tecnologia (Bergek *et al.*, 2015).

3.5.3 Sistemas de inovação tecnológica

O conceito de sistemas de inovação tecnológica surgiu como parte da literatura mais ampla sobre sistemas de inovação (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018; Markard; Truffer, 2008), estando relacionado a um conjunto de elementos, como tecnologias, atores, redes e instituições, que colaboram para o desenvolvimento de determinado campo tecnológico (Bergek *et al.*, 2008, 2015; Markard; Truffer, 2008). A literatura de sistemas de inovação tecnológica adota a abordagem sistêmica para entender o desenvolvimento de um setor tecnológico, com foco na criação de conhecimento e na difusão do conhecimento em redes (Carlsson; Stankiewicz, 1991; Lilliestam *et al.*, 2021).

A estrutura de sistemas de inovação tecnológica foi desenvolvida por um conjunto de estudiosos suecos no final dos anos 1980 e início dos anos 1990 (Bergek, 2019), com o objetivo de construir uma base de análises de políticas de tecnologia (Carlsson; Elg; Jacobsson, 2010), enquanto o desenvolvimento da chamada abordagem de funções surgiu posteriormente, no início dos anos 2000 (Bergek *et al.*, 2008; Hekkert *et al.*, 2007; Johnson, 2001; Johnson; Jacobsson, 2001).

Embora os sistemas de inovação tecnológica sejam definidos dentro de um sistema de inovação global, os estudos geralmente se concentram nos determinantes

nacionais do desenvolvimento do sistema (Van der Loos *et al.*, 2021), o que destaca o importante papel que o contexto geográfico desempenha ao influenciar o surgimento e o desenvolvimento de SIT (Van der Loos *et al.*, 2021). Assim, o seu foco pode estar em campos tecnológicos maduros ou no surgimento e difusão de tecnologias novas e radicais (Bergek *et al.*, 2008, 2015; Carlsson; Stankiewicz, 1991; Hekkert *et al.*, 2007; Markard; Truffer, 2008).

Grande parte dos estudos relacionados à estrutura de SIT tem se concentrado em estudar o surgimento de setores de tecnologia limpa e, por isso, tornou-se um importante bloco de construção da pesquisa relacionada a transições de sustentabilidade (Bergek *et al.*, 2015; Markard; Raven; Truffer, 2012).

Uma nova tecnologia deve, antes de chegar às fases de desenvolvimento, difusão e utilização, passar pelo estágio formativo (Edsand, 2019). Nessa fase, componentes necessários à estrutura do SIT – por exemplo, acúmulo de conhecimento, infraestrutura necessária e configurações institucionais (Bergek *et al.*, 2008) – estão tomando forma. Dependendo da tecnologia em questão, das condições de mercado, bem como das ações tomadas pelos formuladores de políticas e atores da indústria, essa mudança cumulativa dos diferentes componentes do SIT pode durar décadas (Hekkert *et al.* 2007).

Em resumo, a estrutura do SIT pode ser usada para analisar tanto a formação quanto o crescimento de sistemas de inovação tecnológica (Raven, 2005). Por exemplo, a análise do SIT em países em desenvolvimento seria, na maioria dos casos, focada no estágio formativo, em vez de em um estágio posterior de crescimento (Edsand, 2019). O modelo do SIT fornece uma estrutura para análise da natureza, do surgimento e desenvolvimento de indústrias com foco na análise de obstáculos a esse processo, como bloqueios, fraquezas ou problemas sistêmicos (Bergek *et al.*, 2015; Edsand, 2019; Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). E, ao adotar uma visão sistêmica sobre problemas de inovação, a literatura sobre SIT contribui para o desenvolvimento de uma nova lógica para intervenção política que muda o foco, das falhas de mercado para falhas de sistema ou problemas sistêmicos (Bleda; Del Río, 2013; Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). Uma das principais vantagens do *framework* SIT é, portanto, a combinação da análise estrutural e funcional, o que leva a uma visão dinâmica dos sistemas de inovação (Schaube; Ise; Clementi, 2022).

Um SIT conceitua o desenvolvimento, difusão e uso de novos produtos (bens

e serviços) e processos como resultado da interação sistêmica de atores, redes, instituições e tecnologias em um determinado domínio tecnológico (Jacobsson; Bergek, 2011). Nesse contexto, formam-se redes (associações formais, comunidades, etc.), criam-se instituições (regulamentos, normas, regras cognitivas, etc.) e infraestrutura/materiais (ambiente físico, sistemas financeiros, etc.) (Oliveira; Negro, 2019).

A abordagem funcional proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007) visa identificar meios de acelerar a difusão de uma tecnologia que tenha sido definida como desejável por empreendedores, formuladores de políticas e/ou outras partes interessadas relevantes. As chamadas funções do sistema de inovação determinam o desempenho do sistema por meio de um mapeamento empírico, pois a partir destas análises pode-se identificar forças e fraquezas do sistema (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Esta estrutura descreve as redes de atores e instituições (ou seja, o sistema socioinstitucional) que emergem por trás das tecnologias e sugere que as barreiras ao desenvolvimento e difusão de novas tecnologias são tipicamente enraizadas nas fraquezas dessas redes (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018; Markard; Raven; Truffer, 2012).

Um dos principais benefícios da abordagem de funções é o de permitir aos estudiosos medir o desempenho dos sistemas de inovação, ou compreender a dinâmica do sistema (Edsand, 2019; Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). Assim, eventual desempenho insatisfatório de uma ou mais funções do sistema enseja a intervenção dos formuladores de políticas (políticas para gerar, difundir e utilizar uma nova tecnologia) (Bergek *et al.*, 2008; Edsand, 2019). Outro benefício da abordagem de funções é que ela fornece aos estudiosos *insights* sobre processos de crescimento dos sistemas de inovação (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018).

A análise complementar das funções do sistema permite uma melhor compreensão do desempenho do sistema de inovação, que deve ser visto como uma propriedade emergente resultante da interação entre os elementos estruturais e o contexto mais amplo (Markard; Truffer, 2008).

3.5.4 Estrutura: rede de atores e a infraestrutura institucional

Um SIT é também definido como uma rede de atores e instituições engajados na geração e difusão de um artefato tecnológico (Markard; Raven; Truffer, 2012). Os

atores-chave no sistema de inovação podem incluir empresas privadas, órgãos governamentais, mercado ações e grupos de pesquisa (Van der Loos *et al.*, 2021). As instituições são as regras que regem a tecnologia, enquanto as redes são a dinâmica que permite a troca de conhecimento tácito e explícito e interações entre os atores (Van der Loos *et al.*, 2021). A Infraestrutura inclui uma parte física – como estradas, portos e telecomunicações – e outra relacionada a conhecimento, como a presença de universidades técnicas (Van der Loos *et al.*, 2021).

A rede de atores e a infraestrutura institucional são dinâmicas (Bergek, 2019). Quando um novo SIT surge, os atores entram e formam redes, e as estruturas institucionais são estabelecidas ou adaptadas (Jacobsson; Bergek, 2004). Com o tempo, esta estrutura amadurece e se torna mais estável, mas a entrada e saída de atores ainda pode ocorrer, assim como a convergência da indústria com mudanças relacionadas aos padrões de colaboração em inovação (Bröring *et al.*, 2006).

3.5.5A abordagem funcional dos sistemas de inovação tecnológica

Gradativamente, os pesquisadores constataram que, para avaliar sistemas de inovação, é necessário, além do foco nos elementos estruturais, identificar claramente o que acontece nesses sistemas (Esmailzadeh *et al.*, 2020a). Para avaliar o status dos elementos estruturais dos sistemas de inovação, é preciso considerar os efeitos dos processos de inovação ou das funções do sistema (Esmailzadeh *et al.*, 2020a). Em 2001, Johnson e Jacobsson introduziram funções de sistema na abordagem SIT para analisar os processos integrais da criação ao desenvolvimento de um sistema de inovação técnica (Johnson; Jacobsson, 2001). O conceito de função foi definido como a contribuição de um componente ou conjunto de componentes para a função geral do SIT, ou seja, o desenvolvimento, difusão e utilização de novos produtos (bens e serviços) e processos (Johnson, 2001).

Com o tempo, surgiu uma segunda definição, que descreve as funções como processos que explicam a construção e o desenvolvimento do sistema (Andersson *et al.*, 2017; Hekkert; Negro, 2009; Suurs; Hekkert, 2009). A abordagem de funções foi desenvolvida como uma ferramenta metodológica para lidar com a complexidade do SIT, agregando várias influências (de diferentes origens) em um conjunto de processos-chave (Bergek *et al.*, 2015; Hekkert *et al.*, 2007; Johnson; Jacobsson, 2001).

As funções do sistema estão ligadas à natureza e interação das várias instituições, redes e atores que compõem um sistema de inovação. Essas entidades podem ser exclusivas de um SI ou compartilhadas entre outros sistemas de inovação (Jacobsson; Johnson, 2000; Negro; Hekkert; Smits, 2007). Desde a sua concepção, a abordagem de funções foi sendo adotada por pesquisadores e grupos de pesquisa diferentes e, até o ano de 2019, de acordo com Bergek (2019), haviam sido publicados mais de 200 artigos usando a estrutura de SIT como ponto de partida teórico. Dentre essas pesquisas, dominam os estudos empíricos relacionados à inovação sustentável, incluindo combustíveis alternativos e tecnologias de energia renovável (Bergek, 2019).

3.5.6 As funções do sistema de inovação tecnológica (SIT)

As subseções seguintes apresentam a descrição das sete funções do modelo de sistema de inovação tecnológica, baseadas em Bergek (2019), Bergek *et al.* (2008) e Bergek; Hekkert e Jacobsson (2007).

3.5.6.1 Desenvolvimento e difusão do conhecimento

A Função 1, de acordo com Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007), relaciona-se ao conceito de aprendizado, e tem como pré-condição a difusão do conhecimento, por meio das várias redes. Assim, essa função se ocupa da capacidade e da eficiência da base de conhecimento do SIT e de como o conhecimento é difundido e combinado no sistema (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). A produção do conhecimento aqui é distinguida entre diferentes tipos, como, por exemplo, conhecimento científico, tecnológico, de produção, mercado, logística (Bergek *et al.*, 2008). O seu desenvolvimento é descrito principalmente em termos de projetos de pesquisa e programas de vários tipos que, na maior parte dos casos, são financiados pelo poder público e executados por universidades, institutos de pesquisa e empresas, às vezes em colaboração (Bergek, 2019).

A difusão do conhecimento é importante para conectar os atores de um sistema em uma rede e torná-la sistêmica (Bergek, 2019). Dessa forma, falhas neste processo podem ocorrer, por exemplo, devido à falta de colaboração e comunicação entre os atores, à mobilidade limitada de pessoas ou a estratégias defensivas de patenteamento (Bergek, 2019).

O nível atual e a dinâmica da função podem ser medidos por uma série de indicadores, incluindo, por exemplo, bibliometria (citações, volume de publicações, orientação), projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), número de professores, número de patentes e curvas de aprendizagem (Bergek *et al.*, 2008). Conferências e *workshops* são mecanismos de troca e difusão de conhecimento (Bergek, 2019).

A primeira função é considerada um dos processos-chave e normalmente é colocada no centro do sistema de inovação tecnológica (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

3.5.6.2 Influência na direção pretendida

Em um SIT desenvolvido, empresas e organizações devem perceber oportunidades de negócios e desejar entrar no novo sistema, e, por outro lado, deverá haver incentivos e pressão para que isso ocorra (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Estes mecanismos não são controlados por uma organização ou pelo Estado, exceto no caso de regulamentações (Bergek *et al.*, 2008), mas podem ser influenciados por incentivos de preços, como a redução de impostos sobre o preço da energia elétrica, por pressões regulatórias, como, por exemplo, à emissão de certificados de eletricidade verdes, por regimes tributários, ou ainda pela articulação dos interesses de grandes clientes (Bergek *et al.*, 2008). Esse processo se caracteriza pela troca de experiências entre produtores, usuários de tecnologia e outros atores, em que não apenas a própria tecnologia, mas também as oportunidades, são dinâmicas (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

A segunda função busca conhecer tecnologias concorrentes, aplicações, mercados e modelos de negócios que podem influenciar o futuro ou a direção do TIS (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

Segundo Bergek (2019), a função deve ser aplicada aos atores, pelo lado da oferta, em toda a cadeia de valor, enquanto, pelo lado da demanda, a orientação e decisões dos atores em adotar ou comprar uma tecnologia são consideradas como formação de mercado.

A influência (ou orientação) dos processos de busca refere-se aos mecanismos que direcionam as empresas e outros atores a novas oportunidades e indicam para quais problemas devem aplicar seus recursos (Bergek, 2019). Incentivam e pressionam a inovação em um campo tecnológico específico, e

determinam escolhas relacionadas, por exemplo, às tecnologias, mercados e modelos de negócios (Bergek, 2019).

3.5.6.3 Experimentação empreendedora

A Função 3 tem como objetivo identificar como os sistemas de inovação tecnológica transformam as possibilidades de novos conhecimentos, redes e mercados em oportunidades de negócios. Essa função é conhecida como experimentação empreendedora (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Para esses autores, a forma de lidar com as incertezas é garantir que muitas experiências empresariais ocorram, e, para isso, as ideias tecnológicas mais recentes precisam ser complementadas por decisões e metas políticas de longo prazo, e as agendas de P&D podem precisar ser ajustadas para se adaptarem às normas e valores em mudança na sociedade (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Essa função está intimamente relacionada à primeira (F1 – Desenvolvimento e difusão do conhecimento), porém focada em como novos conhecimentos se transformam em ações concretas para gerar novas oportunidades de negócios e um processo de aprendizado social (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

Segundo Bergek (2019), para um analista mensurar essa função, precisará mapear o número e a variedade de experimentos que ocorrem em termos de, por exemplo: número de novos entrantes, incluindo a diversificação das empresas estabelecidas; número de diferentes tipos de aplicações; a amplitude das tecnologias utilizadas e o caráter das tecnologias complementares empregadas. Os exemplos de experimentação empreendedora referem-se, em sua maioria, a plantas piloto ou de demonstração e à exploração de novas aplicações (Bergek, 2019).

3.5.6.4 Formação de mercado

Na Função 4, para surgir um novo sistema de inovação tecnológica, é necessário que surjam ou se desenvolvam mercados até então subdesenvolvidos, com clientes em potencial não atendidos, preços ou desempenho tecnológico ruins (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Para auxiliar na formação e/ou desenvolvimento de um mercado, é necessária a identificação dos atores empresariais ou dos formuladores de políticas de segmentos de mercado (nichos) nos quais as vantagens da nova tecnologia sejam mais valorizadas do que suas desvantagens (por exemplo,

em termos de custo) (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Outra opção é criar competitividade (temporária) por meio de regulamentos (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Nesse caso, de acordo com esses autores, a política pode melhorar as oportunidades empresariais e o aprendizado, ampliando um espaço protegido e, por fim, mercados de massa relacionados a SITs bem-sucedidos podem evoluir, muitas vezes após várias décadas de sua formação (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

Para entender a sequência da formação dos mercados, é preciso analisar o desenvolvimento real do mercado e o que impulsiona a formação do mercado (Bergek *et al.*, 2008). O momento, o tamanho e o tipo de mercado que realmente se formou são normalmente fáceis de medir (Bergek *et al.*, 2008). A formação de mercado rápida é, portanto, essencial para qualquer SIT nacional (Bergek *et al.*, 2008). O analista precisa avaliar em que fase o mercado está (iniciante, de transição, maduro), quem são os usuários e como são seus processos de compra, se o perfil da demanda foi claramente articulado e por quem, se há estímulos institucionais para a formação do mercado ou se for necessária uma mudança institucional (Bergek *et al.*, 2008).

A formação de mercado refere-se à abertura de um ambiente na qual bens e serviços podem ser trocados entre fornecedores e compradores, e inclui processos como a análise de demandas, preferências e o posicionamento do produto (incluindo preço e segmentação), estabelecimento de padrões e regras de troca (Dewald; Truffer, 2012). É, portanto, uma função bastante ampla e complexa (Bergek, 2019). Considerando essa complexidade, as análises de SIT revisadas fornecem uma descrição bastante simplificada da formação do mercado, que consiste principalmente em números de vendas e instalações, e descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (Bergek, 2019).

3.5.6.5 Mobilização de recursos (capital financeiro e/ou intelectual)

A Função 5 propõe que recursos são o insumo básico para todas as atividades de um sistema de inovação; portanto, essa função é relacionada à capacidade do SIT para mobilizar capitais e ativos complementares (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Em relação ao capital, incluiria tanto o humano, por meio da educação científica e tecnológica, empreendedorismo e gestão, quanto o financeiro – identificado pelo capital inicial e de risco, provenientes de fundos (investidores e governo), disponibilizados para pesquisa e desenvolvimento de longo prazo (fundos de P&D) –

além dos demais ativos complementares, como produtos, serviços e infraestrutura (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

À medida que um SIT evolui, uma gama de recursos diferentes precisa ser mobilizada (Carlsson; Stankiewicz, 1991). Portanto, é preciso entender até que ponto o SIT é capaz de mobilizar competência/capital humano por meio da educação em áreas científicas e tecnológicas específicas, bem como em empreendedorismo, gestão, capital financeiro (capital inicial e de risco, diversificação de empresas, etc.), ativos complementares como produtos complementares, serviços, infraestrutura de rede, etc. (Bergek *et al.*, 2008).

Algumas maneiras de os analistas medirem a mobilização de recursos, de acordo com Bergek (2019), são: volume de capital, volume crescente de capital inicial e de risco, mudança no volume e na qualidade dos recursos humanos (por exemplo, número de diplomas universitários) e mudanças nos ativos complementares (Bergek, 2019).

3.5.6.6 Legitimação (força política)

A Função 6, legitimação, está relacionada, segundo Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007), ao princípio de que a legitimidade, tanto da tecnologia quanto de seus proponentes, é uma condição para a mobilização de recursos. Uma nova tecnologia e seus proponentes precisam, portanto, ser considerados apropriados e desejáveis em relação às instituições e atores relevantes, a fim de mobilizar recursos, criando demanda tecnológica e permitindo aos atores do SIT capitalizarem força política suficiente à formação da demanda (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). A legitimidade se forma por meio de ações conscientes das diversas organizações e indivíduos em um processo dinâmico (Zimmerman; Zeitz, 2002).

A legitimidade é uma questão de aceitação da sociedade e da conformidade com as instituições relevantes: a nova tecnologia e seus proponentes precisam ser considerados apropriados e desejáveis pelos atores relevantes para que recursos sejam mobilizados, para que a demanda se forme e para que os atores do novo SIT adquiram força política (Bergek *et al.*, 2008). Como reconhecido na teoria da organização, a legitimidade é um pré-requisito para a formação de novas indústrias (Rao, 2004), e surge de um processo moroso e complexo pelo fato de que um novo SIT precisa se relacionar e competir com os SIT já estabelecidos (Bergek; Hekkert;

Jacobsson, 2007).

O mapeamento da dinâmica funcional da legitimação inclui a análise da legitimidade do SIT sob os aspectos de vários atores e partes interessadas relevantes, e as atividades dentro do sistema que podem aumentar essa legitimidade (Bergek *et al.*, 2008). Para isso é necessário compreender: a) a força da legitimidade do SIT, em particular se há alinhamento entre o SIT e a legislação vigente e a base de valor na indústria e na sociedade; b) como a legitimidade influencia a demanda, a legislação e o comportamento da empresa; e c) o que (ou quem) influencia a legitimidade e como (Bergek *et al.*, 2008).

Pode-se dizer ainda que a legitimação se refere ao processo da nova tecnologia, de seus proponentes e do SIT alcançarem legitimidade regulatória, normativa e cognitiva diante das partes interessadas, ou seja, de serem, cada vez mais, percebidos como cumpridores de regras e de regulamentos, de normas e valores sociais (Bergek, 2019). Isso pode envolver adaptação a instituições existentes, mudanças nessas instituições ou o desenvolvimento de instituições inteiramente novas (Bergek, 2019).

A legitimidade da tecnologia está intimamente ligada aos benefícios percebidos de uma nova tecnologia (em diferentes dimensões) em comparação com soluções alternativas (Bergek, 2019). As indústrias emergentes, que geralmente carecem de legitimidade, podem ganhar *status* e prestígio por meio de mecanismos como certificações, ancoragens locais e fundações de associações setoriais (Bento, Fontes, 2015). Uma segunda interpretação é a da legitimação em indústrias estabelecidas, essa legitimidade foi construída ao longo do tempo e pode ter sua base na provisão de riqueza e emprego (Gabaldón-Estevan; Hekkert, 2013). No entanto, essa legitimidade pode ser questionada à medida que novos problemas surgem, por exemplo, relacionados a questões ambientais ou de saúde, ou se a relevância econômica e a visibilidade da indústria são limitadas (Gabaldón-Estevan; Hekkert, 2013).

Finalmente, a aceitação da tecnologia por formuladores de políticas é importante, tanto para receber apoio quanto para sinalizar legitimidade para outras partes interessadas (Bento; Fontes, 2015).

3.5.6.7 Desenvolvimento de externalidades positivas

O desenvolvimento de externalidades positivas, ou utilidades livres, é, segundo Porter (2008), essencial para a formação de *clusters* e sistemas de inovação. A Função 7 aborda o conceito de externalidades positivas, usado na economia neoclássica, para descrever resultados de investimentos dos quais o investidor não pode se apropriar plenamente, o que implica que outros atores poderão usufruir de utilidades gratuitas em termos de desenvolvimento do conhecimento (por exemplo, P&D), redução da incerteza e legitimidade reforçada (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Tudo isso pode aumentar o número de participantes em um novo SIT (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Para esses autores, esse é um processo diretamente dependente das demais funções e indica a dinâmica do sistema de inovação tecnológica, pois o desenvolvimento de externalidades positivas é essencial para a formação de *clusters* (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007).

A natureza sistêmica do processo de inovação e difusão sugere fortemente que a geração de economias externas positivas é um processo-chave na formação e crescimento de um SIT (Bergek *et al.*, 2008). A entrada de novas empresas no SIT emergente é fundamental para o desenvolvimento de externalidades positivas (Bergek *et al.*, 2008).

Em primeiro lugar, os novos entrantes podem resolver pelo menos algumas das incertezas iniciais relacionadas a tecnologias e mercados (Lieberman; Montgomery, 1988), reforçando assim as funções de influência na direção da procura e formação do mercado. Em segundo lugar, eles podem, por sua própria entrada, legitimar o novo SIT (Carroll, 1997). Novos participantes também podem fortalecer o poder político das coalizões de defesa que, por sua vez, aumentam as oportunidades para um processo de legitimação bem-sucedido (Bergek *et al.*, 2008). Mais legitimidade pode, por sua vez, influenciar positivamente mudanças em quatro funções: mobilização de recursos, influência na direção da busca, formação de mercado e “experimentação empresarial” (Bergek *et al.*, 2008, p.17). Em terceiro lugar, quanto maior o número e a variedade de atores no sistema, maiores são as chances de surgirem novas combinações, muitas vezes de forma imprevisível (Carlsson, 2003). Uma ampliação da base de atores no SIT, portanto, aumenta não apenas as oportunidades para cada empresa participante do sistema contribuir para o desenvolvimento e difusão do conhecimento, mas também para que as empresas

participem da experimentação empresarial (Bergek *et al.*, 2008). Assim, novos entrantes podem contribuir para um processo de fortalecimento da dinâmica funcional do SIT, beneficiando outros membros do SIT por meio da geração de externalidades positivas (Bergek *et al.*, 2008).

Esta função, portanto, não é independente, mas funciona por meio do fortalecimento das outras seis funções. Pode assim, ser vista como um indicador da dinâmica geral do sistema (Bergek *et al.*, 2008).

O desenvolvimento de externalidades positivas refere-se à criação de utilidades (ou recursos) no âmbito do sistema, como mercados de trabalho agrupados, tecnologias complementares e fornecedores especializados, que também estão disponíveis para os atores do sistema que não contribuíram para construí-los (Bergek, 2019). Não está diretamente relacionado ao sistema de inovação tecnológica, mas sim ao sistema de produção e consumo, por exemplo, montadoras, oficinas de reparo e manutenção e empresas de logística (Bergek, 2019). Isso parece indicar que, embora um SIT não seja uma indústria, seu desempenho pode depender do desenvolvimento industrial, como, por exemplo, empresas de montagem, oficinas de reparação e manutenção e empresas de logística (Bergek, 2019).

3.5.6.8 Resumo da interpretação das funções

O Quadro 5 apresenta indicadores, definições e critérios usados na análise funcional de SIT:

Quadro 5 – Indicadores, definições e critérios para análise das funções

(continua)

		Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007)	Bergek <i>et al.</i> (2008)	Bergek (2019) (Literatura revisada)
Função	Objeto	Indicadores	Definição	Crítérios para análise
1	Conhecimento	Projetos de P&D; patentes; bibliometria; investimentos em P&D; curva de aprendizagem; número de workshops e conferências; tamanho e intensidade das redes de aprendizagem.	O conhecimento aqui é distinguido entre diferentes tipos como por exemplo, conhecimento científico, tecnológico, produção, mercado, logística e design ou o desenvolvimento de conhecimento.	a) Desenvolvimento do conhecimento a partir de projetos ou programas de pesquisa, do desenvolvimento de produtos, de programas e colaborações de P&D; b) Difusão do conhecimento, tecnologias e melhores práticas dentro do SIT através de organizações, e mecanismos de trocas e difusões (conferências e workshops).

(continua)

		Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007)	Bergek et al. (2008)	Bergek (2019) (Literatura revisada)
Função	Objeto	Indicadores	Definição	Crítérios para análise
2	Oferta	Preços de fatores/produtos (por exemplo, impostos e preços no setor de energia); pressões regulatórias (por exemplo, sistemas de cotas para energia renovável); metas governamentais/industriais quanto ao uso de uma tecnologia específica; estimativas de potenciais de crescimento futuros; articulação de interesse pelos principais clientes.	Abrange os mecanismos que influenciam a direção do SIT em termos de diferentes tecnologias concorrentes, aplicativos, mercados, modelos de negócios etc.	Deve-se analisar os mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT: a) crises em suas indústrias ou mercados atuais; b) desenvolvimentos em outras indústrias e na economia em geral; c) crescimento do mercado ou a promessa de um grande potencial; d) políticas de incentivo, nacionais e internacionais. Obs.: A função se refere aos atores do lado da oferta.
3	Pesquisas	Número de novos participantes; número de atividades dos atores envolvidos; número de experimentos com a nova tecnologia; grau de variedade em experimentos (por exemplo, número de aplicações diferentes).	A principal fonte de redução da incerteza é a experimentação empreendedora, que implica uma sondagem de novas tecnologias e aplicações, onde muitas irão falhar, algumas terão sucesso em um processo de aprendizagem social.	Exemplos de experimentação empreendedora referem-se, em sua maioria, a plantas piloto ou de demonstração (PDPs) e à exploração de novas aplicações: a) testar novas tecnologias em condições da vida real e em escala suficiente antes de colocá-las em operação comercial; b) experimentar as soluções técnicas dentro do mesmo SIT quando há incerteza de benefícios e desvantagens de diferentes projetos. Obs.: O rótulo empreendedor não deve ser a associado à entrada ou atividades de pequenas ou novas empresas, mas a como agir diante da incerteza. Isso pode ser feito por qualquer tipo de ator, incluindo empresas estabelecidas.

(continua)

		Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007)	Bergek et al. (2008)	Bergek (2019) (Literatura revisada)
Função	Objeto	Indicadores	Definição	Crítérios para análise
4	Mercado	Número, tamanho e tipo de mercado formado; momento da formação de mercado; drivers do mercado em formação.	Os mercados podem não existir, os clientes em potencial podem não ter articulado sua demanda ou não ter a capacidade de fazê-lo, o preço/desempenho da nova tecnologia pode ser ruim e as incertezas podem prevalecer em muitas dimensões.	A formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena na qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários), e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda). c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem.
5	Recursos	Volume de capital e capital de risco; volume e qualidade de recursos humanos (dados educacionais); volume e qualidade de ativos complementares.	A capacidade do SIT em mobilizar Capital humano (educação em áreas científicas e tecnológicas, em empreendedorismo, gestão e finanças; Capital financeiro (capital inicial e de risco, diversificação de empresas etc.) e Ativos complementares como produtos complementares, serviços, infraestrutura de rede etc.).	a) Recursos financeiros: 1- Financiamento público em P&D de fontes nacionais e internacionais; 2 - Financiamento privado de empresas ou fundos privados /investidores; b) Recursos humanos: 1 - educação universitária, programas de educação, especialmente em contextos de países em desenvolvimento; 2 - tipos de competências e habilidades exigidas no TIS. c) Infraestrutura: 1 - Recursos físicos, como laboratórios de P&D); 2 - Identificação de recursos físicos ausentes; 3 - Recursos existentes que possam ser explorados; 4 - Recursos não diretamente relacionados à inovação, por exemplo, logística, instalações de produção ou redes de transmissão.

(conclusão)

		Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007)	Bergek et al. (2008)	Bergek (2019) (Literatura revisada)
Função	Objeto	Indicadores	Definição	Crítérios para análise
6	Legitimação	Atitudes em relação à tecnologia entre diferentes stakeholders; ascensão e crescimento de grupos de interesse; extensão das atividades de lobby; debate político no parlamento e na mídia.	Legitimidade é uma questão de aceitação social e conformidade com instituições relevantes: a nova tecnologia e seus proponentes precisam ser considerados apropriados e desejáveis pelos atores relevantes para que recursos sejam mobilizados, para que a demanda se forme e para que os atores do novo SIT adquiram força política	a) Fases Iniciais: O desempenho da tecnologia são mecanismos de legitimação ou deslegitimadores; avaliações independentes de especialistas e cientistas também é legitimador; b) Indústrias estabelecidas: legitimidade construída ao longo do tempo e baseada no poder econômico, no entanto, a legitimidade pode ser questionada quanto a questões ambientais ou de saúde; c) Lobby: Grupos de interesses atuando para obter políticas para uma tecnologia ou indústria.
7	Externalidades	Força do poder político dos atores do TIS; atividades visando à resolução da incerteza; existência/desenvolvimento de divisão clara do trabalho; intermediários especializados e/ou um mercado de trabalho agrupado; fluxos de informação e conhecimento.	Esta função não é independente, mas funciona através do fortalecimento das outras seis funções. Portanto, é como um indicador da dinâmica geral do sistema.	a) Difusão das melhores práticas, criação oportunidades para outros atores acessarem conhecimento altamente especializado sem os investimentos necessários; b) Construção de uma cadeia de valor completa em torno da tecnologia focal. Obs.: Função não está diretamente relacionado ao sistema de inovação, mas sim ao sistema de produção e consumo.

Fonte: Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007); Bergek et al. (2008), Bergek (2019)

3.5.1 Críticas e limitações da abordagem SIT

Segundo Edsand (2019), o uso da estrutura do sistema de inovação para entender a mudança tecnológica tem duas limitações: (1) visão voltada para dentro e (2) aplicação em países desenvolvidos, conforme se discute a seguir.

3.5.2 Limitação 1: olhar para dentro

Embora a abordagem da função relacionada a SIT tenha sido considerada uma ferramenta útil para analisar processos dinâmicos, a abordagem foi criticada por não levar suficientemente em conta a influência de fatores externos ao sistema de inovação tecnológica (Coenen; López, 2010; Markard; Truffer, 2008).

Markard e Truffer (2008) referem-se à abordagem do tipo SIT como “míope” no que diz respeito à explicação das transições tecnológicas. Eles descrevem a perspectiva do sistema como sendo orientada para dentro e não prestando muita atenção ao ambiente do sistema (Markard; Truffer, 2008). Dado que um dos propósitos de agregar funções à análise do SIT era poder produzir sugestões de políticas concretas para permitir o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias, a falta de incorporação sistemática do contexto mais amplo na análise constitui uma limitação da abordagem (Edsand, 2019). Consequentemente, ao negligenciar o contexto mais amplo na análise, a abrangência da abordagem da função SIT pode ser reduzida, o que pode resultar em recomendações de políticas incompletas que deixam de fora aspectos essenciais relativos aos *drivers* e barreiras existentes para o sistema (Edsand, 2019).

Para responder à crítica à natureza míope da abordagem, os estudiosos de SIT propuseram, em 2015, uma classificação dos padrões de interação do contexto, permitindo uma análise diferenciada dos fatores que influenciam o SIT: política, setores estabelecidos, outros SITs e contexto geográfico (Bergek *et al.*, 2015). Esta análise é apresentada em forma de questões de pesquisa, conforme resumo do Quadro 6.

Quadro 6 – Contexto e questões para pesquisa

(continua)

Contexto	Definição	Questões para pesquisa
1 - Interação entre um SIT focal e outros SITs	As tecnologias se complementam, competem e, assim, interagem. Algumas dessas interações são competitivas, ou seja, os atores em dois SIT diferentes competem por participações de mercado ou ativos estratégicos, e outras interações são de apoio.	(1) Qual é a influência da competição SIT – SIT no SIT focal e o papel da política em ampliar ou equilibrar as forças competitivas; (2) Quais são os tipos típicos de conflitos entre atores de diferentes sistemas de inovação; (3) Em que condições os atores de SITs concorrentes decidem colaborar para reformas institucionais; (4) Como a melhoria tecnológica e os desenvolvimentos de infraestrutura em um SIT influenciam as chances de sucesso de outros SITs; (5) Quais sinergias (em vez de competição) podem ocorrer entre SITs emergentes e mais estabelecidos.
2 - Interação entre um SIT focal e setores relevantes	A dinâmica de um determinado SIT se confunde com a estrutura e a dinâmica do setor do qual faz parte. Os setores são compostos pelo mesmo tipo de elementos estruturais que os SITs, mas contam com um conjunto maior de tecnologias em diferentes estágios de maturidade – e, conseqüentemente, relacionam-se a vários SITs diferentes – para fornecer sua função geral.	(1) Como os atores incumbentes do setor que não faz parte de um SIT focal influenciam seu desenvolvimento; (2) Como os SITs emergentes influenciam as estruturas setoriais; em particular, se e quando eles começarem a crescer rapidamente; (3) Quais são as conseqüências, para o SIT focal, de estar vinculado a diferentes setores.
3 - Desenvolvimento de SIT em estruturas de contexto geográfico	Os elementos estruturais de um SIT estão sempre localizados em algum lugar no espaço. Como consequência, os limites do SIT geralmente coincidem com os limites territoriais. O contexto geográfico pode, portanto, numa primeira fase, ser visto como relacionado com a definição dos limites do SIT e pelas ligações externas que possam existir entre um SIT e os recursos localizados num território específico.	(1) Como se pode analisar a dinâmica de vários SITs nacionais, que implementam estratégias concorrentes de política industrial; (2) Como se pode entender a inter-relação entre os SIT nacionais; (3) Como se pode identificar se um SIT específico é global ou se consiste em um conjunto de SITs nacionais e/ou regionais amplamente independentes; (4) Como se podem analisar as oportunidades ou barreiras para países ultrapassarem certos estágios no desenvolvimento industrial ou construção de infraestrutura; (5) Por fim, como se podem identificar momentos na dinâmica do SIT em que partes da cadeia de valor começam a seguir rotas espacialmente diferenciadas e, com isso, criam problemas de legitimidade para políticas do lado da demanda enquadradas nacionalmente.

(conclusão)		
Contexto	Definição	Questões para pesquisa
4 - Interação entre um SIT focal e o contexto político	O apoio político a um SIT se materializa, por exemplo, na disponibilização de recursos financeiros públicos para pesquisa e desenvolvimento e formação de mercados, mas também no aumento da legitimidade societária para o campo tecnológico que impacta positivamente na entrada de novos atores que tragam recursos para os SIT focais, como investidores, empreendedores e governos locais.	(1) Como os atores do SIT forjam redes ou coalizões políticas que trabalham para mudanças políticas em favor da tecnologia focal; (2) Como as diferentes estruturas do contexto político impactam as estratégias de <i>lobby</i> dos defensores das novas tecnologias; (3) Que tipo de redes e coalizões de políticas apoiam ou obstruem os SITs associados a mudanças de longo alcance nos setores existentes; (4) Quais sistemas políticos são mais propícios para políticas de suporte específicas de tecnologia.

Fonte: Bergek *et al* (2015).

3.5.3 Limitação 2: a abordagem de função do SIT é baseada principalmente em países desenvolvidos

A abordagem da função SIT foi desenvolvida e aplicada principalmente em países industrializados desenvolvidos, como Holanda, Suécia e Alemanha, e sua aplicação em países em desenvolvimento tem sido limitada (Bergek, 2019; Edsand, 2019). De fato, vários autores até questionaram a aplicabilidade da abordagem do sistema de inovação para países em desenvolvimento e argumentam que sem considerar o contexto específico, a abordagem do sistema de inovação não pode ser aplicada a países desse grupo (Edsand, 2019).

Existem, porém, estudos que, embora reconheçam que a estrutura do SIT foi desenvolvida principalmente para países desenvolvidos, testaram o modelo SIT em economias emergentes – para analisar a transição de energias renováveis na África do Sul e na Índia, em 2012, e no estudo do desenvolvimento da energia eólica na China, em 2013 (Edsand, 2019).

Uma revisão sistemática da literatura realizada por Bergek (2019), relacionada à estrutura de SIT, confirma que estudos publicados até então foram predominantemente estudos de caso no contexto europeu. Bergek (2019) conclui que a estrutura do SIT deve ser adaptada e desenvolvida para ser utilizada adequadamente no contexto dos países em desenvolvimento e emergentes (Schaube; Ise; Clementi, 2022).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa relacionados aos objetivos específicos e objetivo geral, sendo constituído por quatro seções.

A primeira delas busca atender ao primeiro objetivo específico definido neste estudo e levantar o estado da arte relacionada à geração distribuída, energia solar fotovoltaica e sistemas de inovação tecnológica, a partir do mapeamento sistemático da literatura.

A segunda seção visa codificar e categorizar temas relacionados à teoria do sistema de inovação tecnológica, da geração distribuída e da energia solar fotovoltaica. Para isso, utilizou-se o *software* de análise de dados MAXQDA e obteve-se, como resultado, a codificação dos documentos selecionados (portfólio de artigos). Nesta etapa, foram também definidas as categorias de contexto (CC) e as categorias de análise (CA), sendo a segunda delas utilizada através da técnica da frequência das palavras, portanto, atende-se aqui ao segundo objetivo específico da pesquisa.

A terceira seção busca responder ao terceiro e último objetivo específico e, para isso, apresenta as relações entre categorias definidas, a partir da exploração do material coletado, obtendo unidades de contexto (UC) e analisando estas unidades de registro, ou seja, a identificação dos seus principais elementos, o que representa, portanto, o resultado do terceiro objetivo específico.

Por fim, a quarta e última seção apresenta o modelo final deste trabalho, com os critérios para avaliação de um sistema de inovação tecnológica de geração distribuída fotovoltaica.

4.1 Resultados do mapeamento sistemático da literatura e *snowballing*: portfólio bibliográfico

Esta etapa da pesquisa contribuiu para identificar documentos e pesquisadores relevantes relacionados aos temas energia solar, geração distribuída e sistemas de inovação tecnológica. Neste estudo, a identificação da base teórica foi realizada a partir do mapeamento sistemático de literatura e da técnica de *snowballing* (bola de neve). Os resultados são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Portfólio bibliográfico selecionado

(continua)

id	Base	Referência	Ano	Periódico
1	Portfólio seminal	(Ali <i>et al.</i> , 2017)	2017	Sustainability
2	Portfólio seminal	(Ali <i>et al.</i> , 2021)	2021	Technological Forecasting and Social Change
3	Portfólio seminal	(Burghard <i>et al.</i> , 2022)	2022	Energy Policy
4	Portfólio seminal	(Dantas <i>et al.</i> , 2018)	2018	Renewable and Sustainable Energy Reviews
5	Portfólio seminal	(Eras-Almeida; Egido-Aguilera, 2020)	2020	Sustainability
6	Portfólio seminal	(Eusébio; Sousa; Neves, 2016)	2016	Technological Innovation for Cyber-Physical Systems - Editor Springer International Publishing
7	Portfólio seminal	(Gordijn; Akkermans, 2007)	2007	Electric Power Systems Research
8	Portfólio seminal	(Keay; Rhys; Robinson, 2014)	2014	Distributed Generation and Its Implications for the Utility Industry - Editor Elsevier
9	Portfólio seminal	(Lammers; Diestelmeier, 2017)	2017	Sustainability
10	Portfólio seminal	(Matsuo, 2019)	2019	Energy Research & Social Science
11	Portfólio seminal	(Praetorius <i>et al.</i> , 2010)	2010	Technology Analysis & Strategic Management
12	Portfólio seminal	(Santos; Bernardon; Abaide, 2013)	2013	Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America) - Editor IEEE
13	Portfólio seminal	(Schaube; Ise; Clementi, 2022)	2022	Technology in Society
14	Portfólio seminal	(Shen <i>et al.</i> , 2021)	2021	Sustainability
15	Portfólio seminal	(Vazquez; Hallack, 2018)	2018	Energy Policy
16	<i>Snowballing</i> para trás	(Del Río; Peñasco; Mir-Artigues, 2018)	2018	Renewable and Sustainable Energy Reviews
17	<i>Snowballing</i> para trás	(Kiefer; Caldés; Del Río, 2021)	2021	Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy
18	<i>Snowballing</i> para trás	(Kiefer; Del Río, 2020)	2020	Journal of Cleaner Production
19	<i>Snowballing</i> para trás	(Lilliestam <i>et al.</i> , 2021)	2021	Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy
20	<i>Snowballing</i> para trás	(Nuortimo; Härkönen; Karvonen, 2018)	2018	Renewable and Sustainable Energy Reviews
21	<i>Snowballing</i> para trás	(Hansen <i>et al.</i> , 2018)	2018	Energy Research & Social Science
22	<i>Snowballing</i> para trás	(Gao; Rai, 2018)	2018	SSRN
23	<i>Snowballing</i> para trás	(Dobrotkova; Surana; Audinet, 2018)	2018	Energy Policy
24	<i>Snowballing</i> para trás	(Steffen <i>et al.</i> , 2018)	2018	Business and Politics
25	<i>Snowballing</i> para trás	(Van der Loos <i>et al.</i> , 2021)	2021	Renewable and Sustainable Energy Reviews

(continua)

id	Base	Referência	Ano	Periódico
26	<i>Snowballing</i> para trás	(Nevzorova; Karakaya, 2020)	2021	Journal of Cleaner Production
27	<i>Snowballing</i> para trás	(Hacking; Pearson; Eames, 2019)	2019	International Journal of Hydrogen Energy
28	<i>Snowballing</i> para trás	(Bach <i>et al.</i> , 2020)	2020	Transportation Research Part D: Transport and Environment
29	<i>Snowballing</i> para trás	(Decourt, 2019)	2019	International Journal of Hydrogen Energy
30	<i>Snowballing</i> para trás	(Kieft; Harmsen; Hekkert, 2021)	2021	Sustainable Energy Technologies and Assessments
31	<i>Snowballing</i> para trás	(Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020b)	2020	Energy Strategy Reviews
32	<i>Snowballing</i> para trás	(Oliveira; Negro, 2019)	2019	Renewable and Sustainable Energy Reviews
33	<i>Snowballing</i> para trás	(Markard, 2020)	2018	Technological Forecasting and Social Change
34	<i>Snowballing</i> para trás	(Bergek, 2019)	2019	Handbook of Sustainable Innovation - Editor: Edward Elgar Publishing
35	<i>Snowballing</i> para trás	(Edsand, 2019)	2019	Technology in Society
36	<i>Snowballing</i> para trás	(Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020a)	2020	Sustainability
37	<i>Snowballing</i> para trás	(Coria; Penizzotto; Pringles, 2019)	2019	Renewable Energy
38	<i>Snowballing</i> para trás	(Schot; Steinmueller, 2018)	2018	Research Policy
39	<i>Snowballing</i> para trás	(Gault, 2018)	2018	Research Policy
40	<i>Snowballing</i> para trás	(Andreae <i>et al.</i> , 2017)	2017	International Association for Energy Economics
41	<i>Snowballing</i> para frente	(Perger <i>et al.</i> , 2021)	2021	Sustainable Cities and Society
42	<i>Snowballing</i> para frente	(Nouri <i>et al.</i> , 2022)	2022	Energies
43	<i>Snowballing</i> para frente	(Adeyeye <i>et al.</i> , 2021)	2021	Energies
44	<i>Snowballing</i> para frente	(Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018)	2018	Energy Policy
45	<i>Snowballing</i> para frente	(Brown; Kivimaa; Sorrell, 2019)	2019	Energy Research & Social Science
46	<i>Snowballing</i> para frente	(Kubli; Canzi, 2021)	2021	Renewable and Sustainable Energy Reviews
47	<i>Snowballing</i> para frente	(Fiuza <i>et al.</i> , 2022)	2022	Brazilian Journal of Development
48	<i>Snowballing</i> para frente	(Dranka; Ferreira, 2020)	2020	Energy Policy
49	<i>Snowballing</i> para frente	(Santos <i>et al.</i> , 2021)	2021	Energies
50	<i>Snowballing</i> para frente	(Wittmayer <i>et al.</i> , 2020)	2020	Energy Research & Social Science
51	<i>Snowballing</i> para frente	(Diestelmeier, 2019)	2018	Energy Policy
52	<i>Snowballing</i> para frente	(Brisbois, 2020)	2020	Global Transitions

(continua)

id	Base	Referência	Ano	Periódico
53	<i>Snowballing</i> para frente	(Hoppe; Butenko; Heldeweg, 2018)	2018	Sustainability
54	<i>Snowballing</i> para frente	(Elia <i>et al.</i> , 2021)	2021	Renewable and Sustainable Energy Reviews
55	<i>Snowballing</i> para frente	(Franco; Groesser, 2021)	2021	Sustainability
56	<i>Snowballing</i> para frente	(Kriechbaum; Brent; Posch, 2018)	2018	Technology Analysis & Strategic Management
57	<i>Snowballing</i> para frente	(Kainiemi; Eloneva; Levänen, 2019)	2019	Technology Analysis & Strategic Management
58	<i>Snowballing</i> para frente	(Hirt; Sahakian; Trutnevite, 2022)	2022	Technology in Society
59	<i>Snowballing</i> para frente	(Costa <i>et al.</i> , 2022)	2022	Renewable and Sustainable Energy Reviews
60	<i>Snowballing</i> para frente	(Gil <i>et al.</i> , 2020)	2020	Renewable Energy
61	<i>Snowballing</i> para frente	(Shidore; Busby, 2019)	2019	Energy Policy
62	<i>Snowballing</i> para frente	(Kihlström; Elbe, 2021)	2021	Sustainability
63	<i>Snowballing</i> para frente	(Martins; Branco; Hallack, 2022)	2022	Energies
64	<i>Snowballing</i> para frente	(Silva <i>et al.</i> , 2019)	2019	Impact Assessment and Project Appraisal
65	<i>Snowballing</i> para frente	(Mendes; Sthel; Lima, 2020)	2020	Revista Vértices
66	<i>Snowballing</i> para frente	(Silva; Jannuzzi, 2019)	2019	International journal of technological learning, innovation and development
67	Autores/Artigos- base	(Bergek; Jacobsson; Sandén, 2008)	2008	Technology Analysis & Strategic Management
68	Autores/Artigos- base	(Carlsson, 1991)	1991	Journal of Evolutionary Economics
69	Autores/Artigos- base	(Wieczorek; Hekkert, 2012)	2012	Science and Public Policy
70	Autores/Artigos- base	(Jacobsson, 2004)	2004	Industrial and Corporate Change
71	Autores/Artigos- base	(Jacobsson; Johnson, 2000)	2000	Energy Policy
72	Autores/Artigos- base	(Mignon; Bergek, 2016)	2015	Journal of Cleaner Production
73	Autores/Artigos- base	(Negro; Alkemade; Hekkert, 2012)	2012	Renewable and Sustainable Energy Reviews
74	Autores/Artigos- base	(Bergek <i>et al.</i> , 2015)	2015	Environmental Innovation and Societal Transitions
75	Autores/Artigos- base	(Bergek <i>et al.</i> , 2008)	2008	Research Policy
76	Autores/Artigos- base	(Hekkert <i>et al.</i> , 2007)	2007	Technological Forecasting and Social Change
77	Autores/Artigos- base	(Markard; Truffer, 2008)	2008	Research Policy
78	Autores/Artigos- base	(Markard; Hekkert; Jacobsson, 2015)	2015	Environmental Innovation and Societal Transitions
79	Autores/Artigos- base	(Negro; Hekkert; Smits, 2007)	2007	Energy Policy

(conclusão)

id	Base	Referência	Ano	Periódico
80	Autores/Artigos-base	(Johnson; Jacobsson, 2001)	2001	Technology and the Market - Editor Edward Elgar Publishing
81	Autores/Artigos-base	(Suurs; Hekkert, 2009)	2009	Technological Forecasting and Social Change
82	Autores/Artigos-base	(Dewald; Truffer, 2012)	2012	European Planning Studies
83	Autores/Artigos-base	(Huenteler <i>et al.</i> , 2016)	2016	Technological Forecasting and Social Change
84	Autores/Artigos-base	(Negro; Hekkert, 2008)	2008	Technology Analysis & Strategic Management
85	Autores/Artigos-base	(Jacobsson; Sandén; Bångens, 2004)	2004	Technology Analysis & Strategic Management

Fonte: autoria própria (2024).

Dessa busca resultaram documentos, a indicação dos principais periódicos e pesquisadores, bem como a relação dos autores basilares da teoria de sistemas de inovação tecnológica, o que constitui o portfólio bibliográfico mais relevante para os temas propostos e atende, portanto, ao primeiro objetivo específico da pesquisa.

4.2 Resultados da análise de conteúdo dedutiva: codificação e categorização

Após a primeira etapa de seleção do referencial bibliográfico e seguindo para a leitura integral e análise do portfólio bibliográfico, foi possível a identificação dos principais assuntos, que foram então codificados.

As categorias de contexto foram definidas de acordo com as funções propostas pelo modelo de análise SIT: (F1) desenvolvimento e difusão do conhecimento; (F2) influência na direção pretendida; (F3) experimentação empreendedora; (F4) formação de mercados; (F5) capacidade de mobilização de recursos; (F6) legitimação: impactos e opinião pública; e (F7) externalidades positivas.

A operacionalização da codificação dos documentos partiu de uma análise dedutiva, utilizando o *software* MAXQDA, que permite a codificação e a categorização de textos. Na Figura 10 é possível visualizar os resultados do processo de codificação.

Figura 10 – Tela do MAXQDA

(continua)

MAXQDA 2022	
Lista de Códigos	
- Lista de Códigos - SETOR ELÉTRICO (+) - Setor Elétrico - América Latina - Setor Elétrico - UE - Sistema Energético - Inovação Social - Setor Elétrico Brasileiro - Tarifa - Distribuição de Energia - Preço - Abertura de Mercado - Desenvolvedores Privados - Cadeia de Valor - Questão ambiental - Políticas - TRANSIÇÃO ENERGÉTICA (+) - Segurança Energética - ODS 7 - Transição sociotécnica - Transição de Sustentabilidade - SIT - FUNÇÕES - método - Indicadores - Indicadores - Avaliação da TIS - Limites / críticas - DIFUSÃO - Externalidades - Cadeia de Valor - Estágios de desenvolvimento - Formação de Mercado - Legitimação - Aceitação Social - P&D - Custos - Capital humano - Barreiras e Incentivos - Difusão	1205 17 6 3 2 10 24 3 5 1 6 6 5 7 4 22 2 5 1 17 104 154 5 6 2 31 0 1 4 9 35 11 2 10 22 3 37 30

(conclusão)

▼ ● 🏠 ATORES REDES INSTITUIÇÕES	0
▼ ● 🏠 Empreendedor	4
● 🏠 Modelos de negócio	3
> ● 🏠 Governos/ Formuladores de Políticas Públicas	38
● 🏠 Atores	11
● 🏠 Redes	16
● 🏠 Instituições	8
> ● 🏠 OUTRAS ABORDAGENS DE SI/ST	203
▼ ● 🏠 FV	56
▼ ● 🏠 Resíduos Sólidos	2
▼ ● 🏠 Resíduos	1
● 🏠 Economia Circular	1
▼ ● 🏠 Outras Fontes	0
● 🏠 Eólicas	0
● 🏠 Hidrelétricas	2
● 🏠 Bionergia	1
● 🏠 Energia Renovável	7
● 🏠 Usinas Fotovoltaicas	8
● 🏠 Miniredes/ Microrredes	4
▼ ● 🏠 REDs / DERS / RETs	13
▼ ● 🏠 Smart Grid	3
● 🏠 Indústria 4.0	2
● 🏠 CSP - armazenamento	5
▼ ● 🏠 FV Brasil	18
● 🏠 FV - AMERICA DO SUL	12
▼ ● 🏠 GD	54
● 🏠 Financiamentos	3
● 🏠 Custos	3
▼ ● 🏠 PROSSUMIDORES	29
● 🏠 Blockchain	10
● 🏠 Armazenamento/ Baterias	1
● 🏠 Carro Elétrico	1
● 🏠 Comunidades	11
▼ ● 🏠 POLÍTICAS	0
● 🏠 Governança	9
● 🏠 Transição Energética	2
● 🏠 GD Brasil	14
▼ ● 🏠 Consumidor Residencial	1
● 🏠 Estrutura Tarifária - Brasil	2
▼ ● 🏠 MMDG	5
● 🏠 Sistema de Compensação	4
● 🏠 MMDG - BRASIL	19
● 🏠 GD FV	7

Fonte: autoria própria (2023), a partir do *software* MAXQDA.

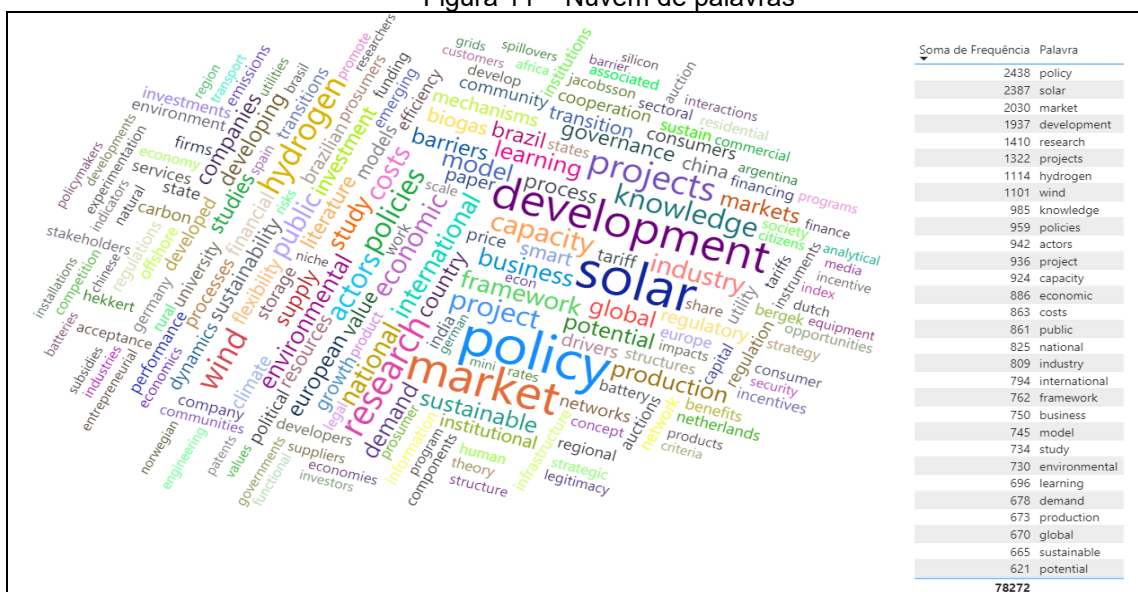
Considerando os eixos temáticos da pesquisa e o setor elétrico mundial, foram

identificados cinco códigos principais: setor elétrico, transição energética, SIT, ESFV e GD, e, a partir destes, 1.205 subcódigos, nos 85 documentos selecionados. Esta análise forneceu dados e informações para a fundamentação teórica deste trabalho, que abrange os temas setor energético e elétrico mundial e brasileiro, geração distribuída, energia solar fotovoltaica e modelo de análise de sistemas de inovação tecnológica.

Em seguida, para identificar as categorias de análise, foi extraído o relatório da frequência de palavras, selecionada a partir da codificação feita no MAXQDA, sob os artigos não traduzidos. A lista de frequência apresentou o total de 12.844 palavras. O arquivo do MAXQDA foi exportado para o Microsoft Excel e ordenado por palavras mais frequentes, e, após a aplicação de filtros, visando excluir símbolos, números, artigos, preposições, pronomes, verbos, adjetivos, títulos de artigos ou seções e expressões relacionadas diretamente com os eixos temáticos da pesquisa (geração distribuída, energia solar e sistema de inovação tecnológica). A análise seguiu agrupando ou excluindo palavras sinônimas, similares, no plural e no singular, considerando também a presença em maior número de artigos, obtendo-se um saldo de 149 palavras.

A partir dessas palavras selecionadas, foi gerada uma nuvem de palavras por meio do aplicativo Microsoft Power BI, conforme a Figura 11, a qual serve para ilustrar o resultado desta etapa da pesquisa. Este portfólio de palavras foi analisado e categorizado conforme a descrição, pertinência e objetivo de cada uma das sete funções do SIT. O resultado desta etapa foi a escolha de 28 palavras distintas, sendo quatro palavras mais representativas para cada função.

Figura 11 – Nuvem de palavras



Fonte: autoria própria (2024), a partir do software Microsoft Power BI.

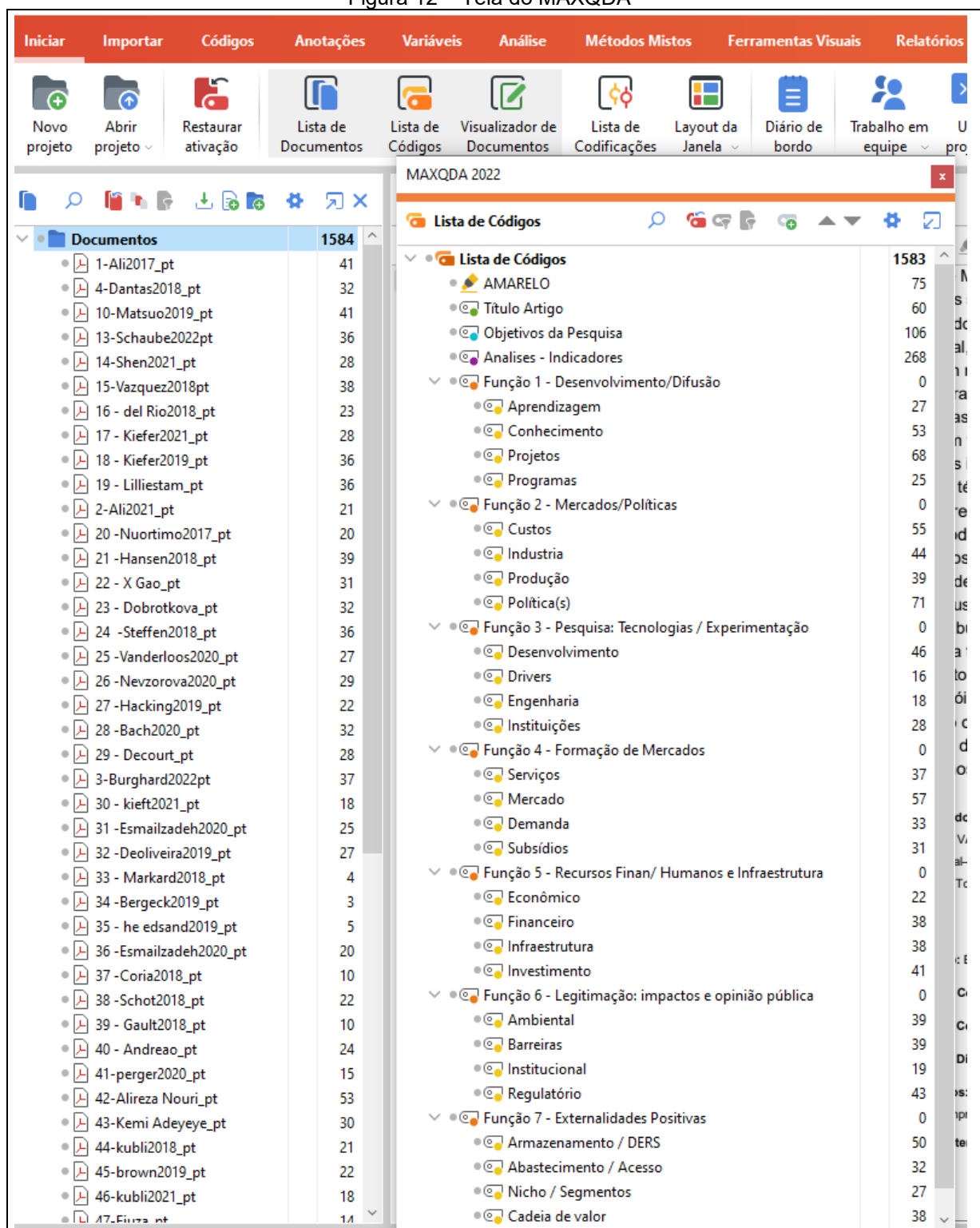
As 28 palavras selecionadas a partir do relatório de frequência passaram a ser tratadas como categorias de análise da pesquisa. Outras categorias estabelecidas foram: a) título do artigo; b) objetivos da pesquisa; c) análises e indicadores; e d) conceitos e tecnologias, a fim de caracterizar a amostra de documentos. O resultado foram 1.584 trechos previamente selecionados.

4.3 Resultados da análise de conteúdo indutiva: unidades de contexto e unidades de registro

Após a primeira etapa de codificação e definição das categorias de análise e contexto, seguiu-se para uma análise de conteúdo indutiva. Para isso, foi realizado um novo projeto no MAXQDA, para novas análises e codificações, utilizando apenas os artigos publicados entre os anos de 2017 e 2022, visando abordagens mais recentes dos temas GD, ESVF e SIT. No total, 61 documentos compuseram este projeto, o qual resultou em unidades de contexto e unidades de registro.

Ainda com o apoio do MAXQDA, os artigos selecionados foram analisados e codificados de forma indutiva, resultando em 1.584 novos códigos, divididos entre sete categorias de contexto, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Tela do MAXQDA



Fonte: autoria própria (2024), a partir do software MAXQDA.

Essas palavras foram então buscadas manualmente nos documentos e os trechos selecionados na sua primeira incidência, exceto quando se tratava do título, resumo, palavras-chave, dados dos cabeçalhos e do referencial, parte da metodologia

ou de títulos de tabelas, quadros ou figuras. A palavra também não foi considerada quando tratava da teoria da abordagem funcional SIT, diretamente, de conceituações e descrições, ou, ainda, quando o contexto não apresentava um sentido amplo ou estava desconexo dos objetivos da busca ou dos aspectos da abordagem funcional.

Os parágrafos selecionados e comparados com as funções do SIT possibilitaram a identificação de 122 unidades de contexto, ou seja, as mais importantes constatações descritas por diversos pesquisadores, a partir da experiência de alguns países, desenvolvidos ou em desenvolvimento a partir da experiência e pesquisas em mercados de tecnologias desenvolvidas para a energia solar fotovoltaica e a geração distribuída, bem como da geração centralizada solar, e uso da energia solar térmica, e ainda da aplicação de outras energias renováveis como o biogás e a eólica e suas tecnologias para geração centralizada ou descentralizada.

Com nova leitura, análise e correlação com as funções do SIT, chegou-se, após as devidas exclusões, ao resultado de 68 unidades de contexto. A análise seguiu sobre as relações entre as categorias definidas e seus principais elementos. As unidades de contexto foram confrontadas com os aspectos de cada uma das sete funções do SIT (categorias de análise) e forneceram as unidades de registro, ou seja, os principais elementos, ou temáticas, identificados(as) com a aplicação funcional do SIT ao sistema da GD de ESFV. A seguir, são explicitadas essas temáticas, e ao final de cada subseção é apresentado um quadro com o resumo da análise de conteúdo realizada, considerando cada função (F).

4.3.1 Desenvolvimento e difusão do conhecimento

Processos de aprendizagem resultam no desenvolvimento de novos conhecimentos e habilidades (Hansen *et al.*, 2018). A produção e a difusão de conhecimento tecnológico do mercado fotovoltaico dependem de políticas públicas que favoreçam a formação de redes de relacionamentos (Silva; Jannuzzi, 2019), e de instituições do setor elétrico que favoreçam o ambiente de inovação e o envolvimento e interações entre os atores desse sistema (Hansen *et al.*, 2018). O papel da aprendizagem pela pesquisa é essencial, especialmente no estágio de P&D, em que a construção de uma base de conhecimento compartilhada é fundamental para ampliar a difusão dos resultados dos projetos e para gerar o envolvimento da indústria

(Dantas *et al.*, 2018). O transbordamento de conhecimento, por outro lado, pode afetar o ritmo das atividades de pesquisa e aumentar a eficácia dos investimentos em P&D (Elia *et al.*, 2021).

Nesse contexto, cita-se a relevância dos centros de pesquisa, financiados pelo poder público, os quais atuam na produção e troca de conhecimento, proporcionando o encontro entre atores (fornecedores e clientes, em âmbito local ou global), e coordenando eventos relacionados à energia, a fim de estabelecer uma base de conhecimento tecnológico para a criação de valor industrial (Van der Loos *et al.*, 2021). A interação entre projetos internacionais torna possível aos países implementar e desenvolver tecnologias, bem como compartilhar e obter novos conhecimentos tecnológicos (Nevzorova; Karakaya, 2020). Para Esmailzadeh *et al.* (2020b), um dos principais mecanismos do transbordamento do conhecimento é a cooperação internacional entre empresas. A aprendizagem tecnológica por meio da engenharia reversa é outra forma de obter conhecimento (Esmailzadeh *et al.*, 2020a). Por exemplo, países em desenvolvimento podem copiar a tecnologia importada e seus engenheiros podem aprender sobre o *design* dessa tecnologia (Esmailzadeh *et al.*, 2020a).

Por outro lado, a falta de recursos humanos qualificados é um desafio infraestrutural que afeta diretamente a capacidade de gerar conhecimento (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). A ausência de pessoal qualificado resulta em uma infraestrutura de conhecimento inexistente ou deficiente (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). Para superar essa deficiência, é fundamental investir em infraestruturas físicas e garantir orçamentos adequados para P&D nos setores público e privado (Esmailzadeh *et al.*, 2020a).

Para qualificar a sua mão de obra, as empresas de tecnologia fotovoltaica devem manter seus próprios programas de treinamento, de alta qualidade (Matsuo, 2019). As universidades também podem contribuir para a difusão do conhecimento e na formação de habilidades, em todo o mundo, por meio de programas de intercâmbio internacionais (Esmailzadeh *et al.*, 2020b). A transferência de pessoas competentes de várias partes do mundo resulta na troca de conhecimento entre as nações (Esmailzadeh *et al.*, 2020b).

No Quadro 8, apresenta-se o resumo da análise da Função 1.

Quadro 8 – Análise de conteúdo – F1

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F1 - Desenvolvimento e difusão do conhecimento: a) Desenvolvimento do conhecimento a partir: de projetos ou programas de pesquisa, do desenvolvimento de produtos, de programas e colaborações de P&D; b) Difusão do conhecimento, de tecnologias e de melhores práticas dentro do SIT, por meio de organizações (elos entre empresas e universidades) e mecanismos de trocas e difusões (conferências e <i>workshops</i>) (Bergek, 2019).	Ambiente favorável à <u>aprendizagem</u> tecnológica	Políticas públicas voltadas ao mercado fotovoltaico	Políticas governamentais são importantes ao desenvolvimento de redes de relacionamento e o fluxo de conhecimento local e não local, para gerar a <u>aprendizagem</u>, especialmente no caso de mercados fotovoltaicos emergentes (Silva; Jannuzzi, 2019).
		Instituições setoriais que favorecem a inovação	As instituições de um determinado setor envolvem a infraestrutura circundante e as condições estruturais favoráveis nas quais a inovação ocorre (Hansen <i>et al.</i>, 2018). Essas condições institucionais influenciam o envolvimento e as interações dos atores, bem como os <u>processos de aprendizagem</u>, que resultam no desenvolvimento de novos conhecimentos e habilidades (Hansen <i>et al.</i>, 2018).
	Infraestrutura para produção de <u>conhecimento</u>	Base de conhecimento compartilhada	É apropriado construir uma base de conhecimento compartilhada para ampliar a difusão dos resultados de projetos e gerar o envolvimento da indústria (Dantas <i>et al.</i>, 2018). Começando no estágio de P&D, o papel da aprendizagem pela pesquisa é primordial e é potencializado pelo <u>transbordamento de conhecimento</u>, que pode afetar o ritmo das atividades de pesquisa e aumentar a eficácia dos investimentos em P&D (Elia <i>et al.</i>, 2021). A aquisição de conhecimento por empresas nacionais por meio da colaboração com empresas estrangeiras é um dos mecanismos cruciais no transbordamento do conhecimento (Esmailzadeh <i>et al.</i>, 2020b).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F1 - Desenvolvimento e difusão do conhecimento: a) Desenvolvimento do conhecimento a partir: de projetos ou programas de pesquisa, do desenvolvimento de produtos, de programas e colaborações de P&D; b) Difusão do conhecimento, de tecnologias e de melhores práticas dentro do SIT, por meio de organizações (elos entre empresas e universidades) e mecanismos de trocas e difusões (conferências e <i>workshops</i>) (Bergek, 2019).	Infraestrutura para produção de <u>conhecimento</u>	Recursos humanos e infraestrutura necessária para gerar conhecimento	A falta de recursos humanos é um problema infraestrutural, porque a falta de pessoal qualificado, por conseguinte implica a ausência de <u>infraestrutura de conhecimento</u> ou infraestrutura deficiente (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). Recursos como infraestruturas físicas (tais como centros de P&D, laboratórios, matérias-primas etc.) e orçamento e despesas suficientes em P&D nos setores público e privado indicam a capacidade de gerar recursos humanos qualificados ou em atrair conhecimento de fora (Esmailzadeh <i>et al.</i>, 2020a).
		Engenharia reversa	Uma forma de <u>obter conhecimento</u> é a aprendizagem tecnológica usando a engenharia reversa (Esmailzadeh <i>et al.</i>, 2020a). Países em desenvolvimento podem copiar a tecnologia estrangeira importada e os engenheiros podem aprender sobre o <i>design</i> dessa tecnologia (Esmailzadeh <i>et al.</i>, 2020a).
		Financiamento à pesquisa (centros de pesquisa)	Os centros de pesquisa com financiamento público têm atuado como importantes centros não apenas na <u>produção de conhecimento</u>, mas também na troca de conhecimento (Van der Loos <i>et al.</i>, 2021). No entanto, sua missão principal é estabelecer uma base para a criação de valor industrial, apoiando o desenvolvimento de conhecimento de baixo nível de prontidão tecnológica, semelhante às estratégias de P&D, além de facilitar pontos de encontro entre fornecedores e clientes internacionais e coordenar eventos relacionados à energia (Van der Loos <i>et al.</i>, 2021).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F1 - Desenvolvimento e difusão do conhecimento: a) Desenvolvimento do conhecimento a partir: de projetos ou programas de pesquisa, do desenvolvimento de produtos, de programas e colaborações de P&D; b) Difusão do conhecimento, de tecnologias e de melhores práticas dentro do SIT, por meio de organizações (elos entre empresas e universidades) e mecanismos de trocas e difusões (conferências e <i>workshops</i>) (Bergek, 2019).	Infraestrutura para produção de <u>conhecimento</u>	Parcerias para a geração de inovação e desenvolvimento científico e tecnológico	Projetos internacionais ajudam os países a compartilharem seus conhecimentos, criarem tecnologias e realizarem o potencial de desenvolvimento, fornecendo, por exemplo, soluções circulares para os resíduos e reduzindo as barreiras de desenvolvimento tecnológico (Nevzorova; Karakaya, 2020).
		Participação da iniciativa privada em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias	Os projetos de P&D dependem de recursos financeiros públicos (Dantas <i>et al.</i> , 2018). Como resultado, a cobertura e a divulgação dos projetos são geralmente limitadas, e a indústria (iniciativa privada) tende a diminuir seu envolvimento no processo de desenvolvimento tecnológico. Assim, os projetos de P&D não conseguem estimular a criação e difusão de inovações tecnológicas (Dantas <i>et al.</i> , 2018). <i>Spin-offs</i> tecnológicos podem surgir entre diferentes programas de P&D, levando ao surgimento de novas tecnologias avançadas (Elia <i>et al.</i> , 2021).

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
	Programas de incentivo à produção do conhecimento técnico e científico	Qualificação de mão de obra em mercados recentes	Muitas empresas da área fotovoltaica de grande escala têm seus próprios programas de treinamento , fornecendo ao mercado de trabalho local um regime de treinamento organizado e frequentemente de alta qualidade (Matsuo, 2019). Por outro lado, muitos mercados distribuídos recém-estabelecidos usam instaladores com habilidades mais comuns, como eletricitistas (Matsuo, 2019). A falta de padrões de qualidade nas instalações e a natureza fragmentada desses instaladores geralmente retardam o processo de aprendizado (Matsuo, 2019).
		Programas de intercâmbio universitário para produzir conhecimento tecnológico	A transferência de pessoas competentes de várias partes do mundo resulta na troca de conhecimento entre as nações (Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020b). Os programas universitários podem ajudar a espalhar conhecimento e habilidades em todo o mundo (Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020b). Esses programas incluem intercâmbio estudantil internacional entre universidades (Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020b).
		Programas de P&D do setor elétrico	Programas de P&D do setor de energia elétrica são relacionados a políticas públicas voltadas ao desenvolvimento e adoção de tecnologias, com vários objetivos, entre eles, apoiar grupos de pesquisa e facilitar a integração universidade-empresa (Silva <i>et al.</i> , 2019).

Fonte: autoria própria (2024).

4.3.2 Influência na direção pretendida (mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT)

A demanda por sistemas fotovoltaicos é limitada por fatores como baixo poder de compra médio, altas taxas de inflação e de juros, financiamento de projetos difícil e preços baixos da eletricidade (Schaube; Ise; Clementi, 2022). Embora o SIT PV se beneficie das reduções de preços de componentes fotovoltaicos em todo o mundo, a dependência de importações leva a dúvidas sobre o preço e a disponibilidade de componentes (Schaube; Ise; Clementi, 2022). A implantação da tecnologia fotovoltaica ainda enfrenta geralmente problemas como produtos de baixa qualidade, baixa conscientização do cliente e altos custos dos produtos (Kihlström; Elbe, 2021). Portanto, para que haja a expansão de fontes de energia renovável (ER), especialmente energia eólica e solar, estas devem ser prioridade em políticas nacionais, como a estratégia nacional de desenvolvimento e planos diretores (Hansen

et al., 2018).

Uma estratégia nacional para o setor de sistemas fotovoltaicos descentralizados, a troca de conhecimento entre os atores em nível nacional e internacional, e a cooperação entre empresas e instituições públicas de pesquisa permitem a harmonização setorial e o avanço da tecnologia (Schaube; Ise; Clementi, 2022). Por meio de doações diretas, subsídios e contribuições para pesquisa e desenvolvimento é possível reduzir custos e proporcionar maior qualidade dos produtos em vários mercados, com o apoio financeiro do governo (Kihlström; Elbe, 2021). Os dois principais mecanismos na redução dos custos são o aprendizado e o efeito de escala (Matsuo, 2019).

Quando se trata de mercados emergentes e de países em desenvolvimento, pode ser conveniente a garantia estatal de proteção do mercado interno (Esmailzadeh *et al.*, 2020a). Isso pode ser alcançado por meio de políticas que incluam isenções de impostos e incentivos fiscais para empresas estrangeiras que realizam projetos de pesquisa conjuntos com empresas nacionais, bem como isenções de impostos para empresas privadas nacionais que importam equipamentos (Esmailzadeh *et al.*, 2020a). Na Europa, o custo da implantação da energia fotovoltaica ainda é alto, apesar da notável redução, e para incentivar o desenvolvimento dessa tecnologia foram implementadas medidas, entre as quais se destacam os mecanismos de *feed-in tariff* (FIT), *net metering* (NM) e *net billing* (NB) (Coria; Penizzotto; Pringles, 2019).

Legislação e regulamentos favoráveis às tecnologias da informação e comunicação (TIC) também são importantes (Dantas *et al.*, 2018). As empresas de TIC são consideradas as principais impulsionadoras das mudanças no setor elétrico (Dantas *et al.*, 2018). Além disso, os setores de telecomunicações e energia elétrica interagem para desenvolver redes inteligentes (Lin *et al.*, 2013).

Embora políticas abrangentes em nível nacional sejam importantes, as estratégias de desenvolvimento regional e as medidas políticas (como impostos regionais) devem ser incorporadas para levar em conta fatores de desenvolvimento socioeconômico específicos que promovam o empreendedorismo (Hacking; Pearson; Eames, 2019). Pelo lado do consumidor, muitos países têm adotado a política tarifária crescente de eletricidade (Matsuo, 2019), sob a qual clientes com mais consumo pagam mais por unidade de eletricidade. Embora esse subsídio cruzado seja um mecanismo de redistribuição, devido ao fato de que a renda dos consumidores estaria

correlacionada com o consumo de energia, pode haver uma adoção desigual de energia solar distribuída devido à política de *net metering* (Matsuo, 2019).

Por fim, deve-se levar em conta a questão da proteção ambiental e o desafio do aquecimento global, foco de muitas agendas políticas e desafio para as indústrias modernas (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018). A mudança climática tem um impacto em várias áreas, como transporte, indústria, agricultura e energia (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018), o que requer mudanças em vários aspectos, incluindo tecnologia, política, negócios e até mesmo estilo de vida (Nevzorova; Karakaya, 2020; United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018). O Quadro 9 apresenta uma síntese da Função 2.

Quadro 9 – Análise de conteúdo – F2

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F2 - Influência na direção pretendida: devem-se analisar os mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT: a) crises em suas indústrias ou mercados atuais; b) desenvolvimentos em outras indústrias e na economia em geral; c) crescimento do mercado ou a promessa de um grande potencial; d) políticas de incentivo, nacionais e internacionais. Obs.: a função se refere aos atores do lado da oferta (Bergek, 2019).	Mecanismos para redução de <u>custos</u> e aumento da qualidade no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica	Subsídios ao mercado fotovoltaico	A tecnologia fotovoltaica, em estágio inicial, enfrentou problemas como baixa qualidade do produto, baixa conscientização do cliente e altos <u>custos de produção</u> (Kihlström; Elbe, 2021). Com o apoio financeiro dos governos, por meio de doações diretas, subsídios e contribuições para pesquisa e desenvolvimento, foi possível reduzir os custos e melhorar a qualidade dos produtos em muitos mercados (Kihlström; Elbe, 2021).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F2 - Influência na direção pretendida: devem-se analisar os mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT: a) crises em suas indústrias ou mercados atuais; b) desenvolvimentos em outras indústrias e na economia em geral; c) crescimento do mercado ou a promessa de um grande potencial; d) políticas de incentivo, nacionais e internacionais. Obs.: a função se refere aos atores do lado da oferta (Bergek, 2019).	Mecanismos para redução de <u>custos</u> e aumento da qualidade no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica	Curva de aprendizagem como mecanismo para a redução de custos	O efeito de escala e o aprendizado são dois mecanismos principais que podem ajudar a <u>reduzir os custos</u> (Matsuo, 2019). Esta experiência pode levar a melhorias tecnológicas e <u>reduções de custos</u> posteriores se realimentar o processo de <i>design</i>, produção ou implantação da tecnologia (Matsuo, 2019). A <u>redução de custos das tecnologias</u> ocorre à medida que novas experiências são adquiridas mediante sua implantação (curva de aprendizado) (Elia <i>et al.</i>, 2021). Nesta experiência os envolvidos adquirem conhecimento ao produzir uma tecnologia (aprender fazendo), ao usá-la (aprender usando) e ao compartilhar o conhecimento (aprender interagindo) (Elia <i>et al.</i>, 2021).
		Preços (da energia e de componentes fotovoltaicos)	Baixos preços da eletricidade, altas taxas de inflação e de juros, financiamento de projetos difícil e baixo poder de compra médio impedem a demanda por sistemas fotovoltaicos (Schaube; Ise; Clementi, 2022). Embora o SIT PV se beneficie das reduções de preços de componentes fotovoltaicos em todo o mundo, a dependência de importações leva a incertezas quanto ao <u>custo e disponibilidade de componentes</u> (Schaube; Ise; Clementi, 2022).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F2 - Influência na direção pretendida: devem-se analisar os mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT: a) crises em suas indústrias ou mercados atuais; b) desenvolvimentos em outras indústrias e na economia em geral; c) crescimento do mercado ou a promessa de um grande potencial; d) políticas de incentivo, nacionais e internacionais. Obs.: a função se refere aos atores do lado da oferta (Bergek, 2019).	Desenvolvimento da <u>indústria</u>	Estratégia industrial nacional	Uma <u>estratégia industrial nacional</u> para o setor de sistemas fotovoltaicos descentralizados, a unificação dos atores, o alto nível de troca de conhecimento entre os atores nacionais e internacionais e a cooperação entre empresas e instituições públicas de pesquisa permitem que a rede de atores desse sistema seja homogênea (Schaube; Ise; Clementi, 2022). Isso permite a troca de conhecimento no âmbito nacional e internacional, a harmonização de expectativas e percepções de problemas setoriais e o avanço da tecnologia (Schaube; Ise; Clementi, 2022).
		Legislação e regulamentos que favoreçam a tecnologia da informação e comunicação (TIC)	As empresas de tecnologia da informação e comunicação (TIC) são vistas como catalisadores de transformações no setor elétrico (Dantas <i>et al.</i>, 2018). Além disso, o desenvolvimento de redes inteligentes depende da interação entre as <u>indústrias de telecomunicações</u> e de energia elétrica (Lin <i>et al</i> 2013). Assim, há uma ênfase na necessidade de legislação e regulamentos que eliminem os obstáculos ao investimento em TIC, o que permitirá a exploração de todas as possibilidades da cadeia de valor, como pré-condição para o desenvolvimento de redes inteligentes (Erlinghagen; Markard, 2012).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F2 - Influência na direção pretendida: devem-se analisar os mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT: a) crises em suas indústrias ou mercados atuais; b) desenvolvimentos em outras indústrias e na economia em geral; c) crescimento do mercado ou a promessa de um grande potencial; d) políticas de incentivo, nacionais e internacionais. Obs.: a função se refere aos atores do lado da oferta (Bergek, 2019).	Desenvolvimento da indústria	Impacto da agenda ambiental	As preocupações com o aquecimento global e a proteção ambiental estão no centro de muitas agendas políticas e se tornando um problema para as indústrias contemporâneas (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018). O Acordo de Paris tem como objetivo reduzir as emissões GEE (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018). Muitas áreas, como energia, indústria , transporte, agricultura, são afetadas pela mudança climática (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018), e isso exige mudanças em tecnologia, política, negócios e até mesmo estilos de vida (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018; Nevzorova; Karakaya, 2020).
	Medidas para produção tecnológica	Proteção ao mercado interno	Para criar um mercado para a tecnologia os países em desenvolvimento devem ser capazes de proteger seu mercado interno contra empresas internacionais, que podem facilmente dominar o mercado por meio da produção em escala econômica e do dumping (Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020a). Algumas medidas incluem políticas favoráveis, de isenções de impostos para empresas estrangeiras que realizem projetos de pesquisa conjuntos com empresas nacionais, e incentivos fiscais e isenções de impostos para empresas privadas nacionais que importem equipamentos (Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2020a). Além disso, essas empresas devem contar com políticas de garantia no mercado interno, como a compra de produtos de pesquisa e desenvolvimento e produção nacionais .

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F2 - Influência na direção pretendida: devem-se analisar os mecanismos que induzem os atores a entrarem em um SIT: a) crises em suas indústrias ou mercados atuais; b) desenvolvimentos em outras indústrias e na economia em geral; c) crescimento do mercado ou a promessa de um grande potencial; d) políticas de incentivo, nacionais e internacionais. Obs.: a função se refere aos atores do lado da oferta (Bergek, 2019).	Políticas públicas de estímulo à adoção da GD de ESFV	Fontes de energia renováveis como parte das estratégias nacionais de desenvolvimento	A expansão de fontes de energia renovável (ER), especialmente de energia eólica e solar, deve ter prioridade em políticas nacionais , como a estratégia nacional de desenvolvimento e planos diretores (Hansen <i>et al.</i> , 2018).
		Estímulo ao empreendedorismo em âmbito regional	Embora políticas nacionais e supranacionais abrangentes sejam importantes, as estratégias de desenvolvimento regional e medidas políticas precisam ser incluídas para levar em conta os fatores de desenvolvimento socioeconômico específicos da região, que estimulam o empreendedorismo, como impostos regionais (Hacking; Pearson; Eames, 2019).
		Influência das políticas tarifárias na difusão do mercado de energia PV	Muitos países adotam, em bloco, tarifas crescentes de eletricidade, com clientes de maior consumo pagando mais por unidade de eletricidade utilizada (Matsuo, 2019). Embora esse subsídio cruzado seja um mecanismo de redistribuição, pois o consumo de energia se correlaciona com a renda dos consumidores, ele pode levar a uma adoção desigual de PV distribuído, sob uma política de net metering (Matsuo, 2019).

Fonte: autoria própria (2024).

4.3.3 Experimentação empreendedora (a exploração de novas aplicações: testar novas tecnologia e soluções técnicas dentro do SIT)

As medidas de eficiência energética como resposta à demanda (DR), sistemas de gerenciamento de energia (EMS), recursos de energia distribuídos (DERs), fontes de energia renováveis (RESs), sistemas de armazenamento de

energia (ESSs) e mercados locais de energia (LEMs) são vistos como facilitadores do empoderamento dos cidadãos na transição energética (Nouri *et al.*, 2022). Porém, para que o envolvimento dos cidadãos nesses tipos de programas seja bem-sucedido e duradouro, é necessário lidar com várias barreiras sociais (Nouri *et al.*, 2022). Um desses problemas é a falta de confiança resultante de lacunas na política, que pode ser mitigada por políticas que promovam uma comunicação transparente com os cidadãos (Nouri *et al.*, 2022). As barreiras regulatórias também são uma fonte comum de obstáculos para esses tipos de tecnologias (Nouri *et al.*, 2022).

Ainda quando se trata de tecnologias que visam a automação da rede de distribuição elétrica e sua incorporação em larga escala, predominantemente surgem as ideias de veículos elétricos (VE) e o gerenciamento do lado da demanda (GLD) (Dantas *et al.*, 2018; Siano, 2014). Para Wittmayer *et al.* (2020), além da mobilidade elétrica, deve-se também considerar a importante demanda por sistemas de aquecimento (Wittmayer *et al.*, 2020). Igualmente importantes são soluções tecnológicas como medidores inteligentes, bem como as mudanças regulatórias, por exemplo, a adoção de tarifas dinâmicas (Siano, 2014; Dantas *et al.*, 2018).

Portanto, a mudança do papel do consumidor para o prossumidor e sua incorporação no setor elétrico estão relacionadas a conceitos como redes elétricas inteligentes (*smart grids*), como solução técnica para desenvolvimento (Diestelmeier, 2019), envolvendo ainda novos tipos de transações, como a P2P (*peer-to-peer*), por meio da tecnologia *blockchain* (Diestelmeier, 2019), permitindo um mercado mais descentralizado (Diestelmeier, 2019).

O Quadro 10 traz as informações pertinentes sobre a Função 3.

Quadro 10 – Análise de conteúdo – F3

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F3 - Experimentação empreendedora: exemplos de experimentação empreendedora referem-se, em sua maioria, a plantas piloto ou de demonstração e à exploração de novas aplicações: a) testar novas tecnologias em condições da vida real e em escala suficiente, antes de colocá-las em operação comercial; b) experimentar as soluções técnicas dentro do SIT quando há incerteza de benefícios e desvantagens de diferentes projetos. Obs.: o rótulo empreendedor não deve ser associado à entrada ou atividades de pequenas ou novas empresas, mas a como agir diante da incerteza. Isso pode ser feito por qualquer tipo de ator, incluindo empresas estabelecidas (Bergek, 2019).	<u>Desenvolvimento</u> de tecnologias que possibilitam a digitalização e a descentralização do mercado de energia elétrica	Tecnologias e ideias que favoreçam a descentralização do comércio de energia e de novas soluções	As ideias relacionadas a redes elétricas inteligentes como solução técnica para <u>desenvolvimentos</u>, e de transações P2P por meio da tecnologia <i>blockchain</i>, relacionam-se à mudança do papel de consumidor, para prossumidor, e sua integração ao setor elétrico (Diestelmeier, 2019).
		Projetos para automação da rede elétrica	São prevalentes em projetos de <u>pesquisa e desenvolvimento</u> relacionados à automação da rede, à sua integração, em larga escala, em sistemas de energia renovável, veículos elétricos, gerenciamento do lado da demanda, bem como a projetos piloto exploratórios relacionados a soluções tecnológicas, como medidores inteligentes, ou mudanças regulatórias, como tarifas dinâmicas (Siano, 2014; Dantas <i>et al.</i>, 2018).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F3 - Experimentação empreendedora: exemplos de experimentação empreendedora referem-se, em sua maioria, a plantas piloto ou de demonstração e à exploração de novas aplicações: a) testar novas tecnologias em condições da vida real e em escala suficiente, antes de colocá-las em operação comercial; b) experimentar as soluções técnicas dentro do SIT quando há incerteza de benefícios e desvantagens de diferentes projetos. Obs.: o rótulo empreendedor não deve ser associado à entrada ou atividades de pequenas ou novas empresas, mas a como agir diante da incerteza. Isso pode ser feito por qualquer tipo de ator, incluindo empresas estabelecidas (Bergek, 2019).	<u>Desenvolvimento</u> de tecnologias que possibilitam a digitalização e a descentralização do mercado de energia elétrica	Desenvolvimento da indústria de telecomunicações e de redes inteligentes	A relação entre a indústria de energia elétrica e a indústria de telecomunicações também é importante para o <u>desenvolvimento de redes inteligentes</u> (Lin <i>et al</i> 2013).
		Análise de cenários da expansão GDFV	O <u>desenvolvimento</u> de um modelo de simulação de difusão de usinas solares em telhados e baterias domésticas introduzindo o conceito de consumo do prossumidor flexível torna possível a análise de possíveis cenários beneficiando interessados, como, por exemplo, concessionárias de serviços públicos (Kubli; Canzi, 2021).
	Intervenções políticas para ativar <u>Drivers</u> (motivadores e facilitadores) das tecnologias GD e ESFV	Intervenções políticas direcionadas à tecnologia e aos mecanismos de cooperação	Ativar os <u>drivers</u> ou mitigar as barreiras requer uma combinação de intervenções políticas; por exemplo, um <i>mix</i> de políticas (Kiefer; Caldés; Del Río, 2021). Dois tipos de medidas são recomendáveis: algumas delas devem ser direcionadas à tecnologia, enquanto outras devem visar aos próprios mecanismos de cooperação (Kiefer; Caldés; Del Río, 2021).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F3 - Experimentação empreendedora: exemplos de experimentação empreendedora referem-se, em sua maioria, a plantas piloto ou de demonstração e à exploração de novas aplicações: a) testar novas tecnologias em condições da vida real e em escala suficiente, antes de colocá-las em operação comercial; b) experimentar as soluções técnicas dentro do SIT quando há incerteza de benefícios e desvantagens de diferentes projetos. Obs.: o rótulo empreendedor não deve ser associado à entrada ou atividades de pequenas ou novas empresas, mas a como agir diante da incerteza. Isso pode ser feito por qualquer tipo de ator, incluindo empresas estabelecidas (Bergek, 2019).	Engenharia no desenvolvimento tecnológico	Empresas técnicas alinhadas às ciências sociais (administração/gestão) e à ciência (instituições de pesquisa)	Projetos de P&D envolvem empresas de engenharia, suprimentos, construção e de consultoria (Decourt, 2019). São necessárias maneiras de conectar melhor as instituições existentes, para alcançar a coordenação e registrar e aprender com os processos (Schot; Steinmueller, 2018). Isso exige novos conjuntos de habilidades, para fazerem a ponte entre as ciências sociais, ciências dos campos de engenharia tecnológica e matemática, o que tem sido recentemente uma prioridade em muitos países (Schot; Steinmueller, 2018). Somente se os engenheiros puderem ser empregados de forma contínua, eles permanecerão em uma empresa acumulando experiência e <i>know-how</i> – o que é fundamental para melhorar o desempenho tecnológico (Schot; Steinmueller, 2018). Esse acúmulo de experiência é especialmente importante em relação a tecnologias complexas, em que o aprendizado não está principalmente preso a patentes e fábricas (aprender fazendo, escala na fabricação), mas na memória viva dos engenheiros (aprender fazendo e usando) (Lilliestam <i>et al.</i>, 2021).

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F3 - Experimentação empreendedora: exemplos de experimentação empreendedora referem-se, em sua maioria, a plantas piloto ou de demonstração e à exploração de novas aplicações: a) testar novas tecnologias em condições da vida real e em escala suficiente, antes de colocá-las em operação comercial; b) experimentar as soluções técnicas dentro do SIT quando há incerteza de benefícios e desvantagens de diferentes projetos. Obs.: o rótulo empreendedor não deve ser associado à entrada ou atividades de pequenas ou novas empresas, mas a como agir diante da incerteza. Isso pode ser feito por qualquer tipo de ator, incluindo empresas estabelecidas (Bergek, 2019).	Participação de <u>Instituições</u> de fomento à pesquisa	Mecanismos de cooperação entre instituições públicas de pesquisa e empresas privadas.	A cooperação entre empresas e <u>instituições públicas de pesquisa</u> permite a homogeneidade da rede de atores desse sistema, possibilita a troca de conhecimento no âmbito nacional e internacional e a harmonização de expectativas e percepções de problemas setoriais, bem como o avanço da tecnologia (Schaube; Ise; Clementi, 2022).

Fonte: autoria própria (2024).

4.3.4 Formação de mercado

As redes inteligentes (*smart grids*) e os recursos de energia distribuídos são assuntos ainda desconhecidos para a maior parte dos usuários de energia elétrica comuns, pois sua difusão no mercado de massa ainda está em fase inicial (Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018). Especialistas do tema, beneficiando-se da precificação dinâmica da eletricidade, da difusão da mobilidade elétrica (VE) e da introdução de sistemas de armazenamento de eletricidade (ESS), afirmam que as redes inteligentes permitirão uma gestão inovadora do lado da demanda (GLD) (Bari *et al.*, 2014; Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018). Investimentos em redes inteligentes tendem a ser desencorajados pelas características econômicas do setor elétrico, principalmente no que diz respeito aos marcos regulatórios e modelos de negócios convencionais (Poudineh; Jamasb, 2014). Nesse contexto, vários países têm implementado medidas para incentivar a instalação de redes inteligentes (Colak *et al.*, 2015; Dantas *et al.*,

2018).

O consumidor final é considerado o maior obstáculo à implementação da flexibilidade na distribuição no mercado de massa (Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018). Em mercados da União Europeia, para se superar essa barreira, o consumidor é colocado no centro das políticas e dos regulamentos que visam promover o desenvolvimento de tecnologias de energia renovável (ER) (Adeyeye *et al.*, 2021). A estrutura legal de cada região da UE determina o grau em que as comunidades poderão se beneficiar de políticas e incentivos relacionados à autoprodução de energia elétrica e/ou o consumo de energia renovável (Adeyeye *et al.*, 2021). Já que o mercado atual de sistemas fotovoltaicos é bem desenvolvido em países como a Alemanha e os Estados Unidos, recebendo doações diretas e subsídios para estimular o desenvolvimento das tecnologias empregadas em sistemas fotovoltaicos (Kihlström; Elbe, 2021). A Índia e a China igualmente recebem subsídios e reduções de impostos para aumentar a eficiência da produção no mercado asiático de tecnologias fotovoltaicas (Kihlström; Elbe, 2021). De igual modo, na maior parte dos países da América Latina, observa-se o desenvolvimento de fontes de energia renovável (ER) correlacionado a políticas de incentivo, que incluem *feed-in tariff* (FIT) e *net metering*, e incentivos fiscais, subsídios, fundos e leilões (Gil *et al.*, 2020).

Desse modo, os mercados elétricos globais necessitam de políticas públicas apropriadas aos atores locais (políticas locais de atração), que considerem benefícios econômicos, tarifas e preços que sinalizem favoravelmente ao uso de recursos de energia distribuídos, como formas de expandir o mercado fotovoltaico (Gao; Rai, 2018). Cada região e país deve estabelecer políticas e regulamentos eficientes que incluam incentivos financeiros para a instalação de tecnologias renováveis (Ali *et al.*, 2017; Rohankar *et al.*, 2016). Estes benefícios fiscais especiais são aplicados para promover o consumo de empresas e indivíduos e incluem políticas de créditos e deduções, depreciação acelerada e subsídios para custos de investimento, empréstimos a juros baixos e preços *premium* de compra de energia (RET), sendo indispensáveis devido aos altos custos de capital associados às tecnologias de energia renovável (Ali *et al.*, 2017; Rohankar *et al.*, 2016). Além disso, as concessionárias de energia e os municípios podem lançar projetos de financiamento coletivo para atingir uma população mais ampla na transição para sistemas de energia descentralizados e renováveis, independentemente das condições socioeconômicas

(Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022).

Outro aspecto que deve ser considerado na formação do mercado de geração distribuída de fonte solar é o seu impacto no mercado cativo de energia, pois, considerando um aumento na tarifa, este afetará principalmente os consumidores cativos, uma vez que os prosumidores compensam o aumento, com créditos de energia (Fiuza *et al.*, 2022; Picciariello *et al.*, 2015). A adoção de tarifas por tempo de uso e restrições no sistema de compensação do horário de ponta é uma proposta de solução ao problema do *net metering* e do subsídio cruzado (Martins; Branco; Hallack, 2022).

No Quadro 11, é possível verificar as informações levantadas para a Função 4.

Quadro 11 – Análise de conteúdo – F4

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F4 - Formação de mercado: a formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena no qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda); c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem essa formação (Bergek, 2019).	Oferta de <u>serviços</u> ao mercado descentralizado de energia	Infraestrutura de serviços para mercados de energia descentralizados	O <i>blockchain</i> promete ser uma maneira de coordenar um grupo distribuído de pessoas oferecendo ou demandando <u>serviços de fornecimento e distribuição de eletricidade</u> e, assim, permitindo um ambiente de mercado mais descentralizado (Diestelmeier, 2019).
		Inovação colaborativa em todo o processo, inclusive no tratamento dos resíduos	Para lidar com os resíduos fotovoltaicos de forma eficaz, é necessário inovar em todos os aspectos do processo de <i>design</i> e recuperação do produto (Franco; Groesser, 2021; Zobel; Balsmeier; Chesbrough, 2016). No setor de energia renovável, a inovação é cada vez mais dependente da colaboração entre governos, instituições de pesquisa, <u>provedores de serviços</u> , empresas estabelecidas e iniciantes (Franco; Groesser, 2021; Zobel; Balsmeier; Chesbrough, 2016).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F4 - Formação de mercado: a formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena no qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda); c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem essa formação (Bergek, 2019).	Regulamentos que colocam o consumidor no centro do <u>mercado</u> de energia	Regulamentos e políticas que coloquem o consumidor no centro do mercado de energia renovável	O objetivo dos regulamentos da União Europeia é incentivar o desenvolvimento de tecnologias de energia renovável e colocar o consumidor no centro dos <u>mercados e políticas</u> (Adeyeye <i>et al.</i> , 2021). As comunidades podem se beneficiar de políticas e incentivos favoráveis para promover a autoprodução e/ou consumo de energia renovável em graus diferentes, dependendo da estrutura regulatória de cada região da União Europeia (Adeyeye <i>et al.</i> , 2021).
		Difusão das tecnologias distribuídas no mercado de massa	Embora as redes inteligentes e os recursos distribuídos sejam um tópico importante nos círculos de especialistas, essas questões não são muito familiares para o consumidor médio de eletricidade, pois a <u>difusão no mercado de massa</u> ainda está por vir. Ainda assim, é o consumidor final o maior gargalo na adoção da flexibilidade distribuída (Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018).
		Avaliação dos efeitos financeiros, impacto setorial e barreiras regulatórias para novas tecnologias	É fundamental avaliar os efeitos financeiros das novas tecnologias e as barreiras regulatórias que precisam ser removidas para reduzir os conflitos de interesse setoriais e garantir a sustentabilidade financeira e a equidade social para o acesso à rede (Martins; Branco; Hallack, 2022). Para que isso seja possível, é necessário estabelecer um marco regulatório que inclua tarifas e preços que sinalizem adequadamente o valor dos recursos distribuídos nos <u>mercados elétricos globais</u> (Martins; Branco; Hallack, 2022).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F4 - Formação de mercado: a formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena no qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda); c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem essa formação (Bergek, 2019).	Estratégias para o gerenciamento da demanda de energia elétrica descentralizada	Apoio a novos modelos de geração e uso de energia	A mobilidade, o aquecimento e a eletricidade afetam tanto a oferta quanto a demanda, incluindo fenômenos como modelos de negócios alternativos (Wittmayer <i>et al.</i>, 2020). Um tipo de modelo de negócios é fornecer incentivos ou subsídios suficientes para projetos de energia solar fotovoltaica. Um segundo tipo de modelo de negócios é baseado em permitir que os clientes consumam diretamente a eletricidade produzida por seus painéis fotovoltaicos, bem como armazenem a eletricidade e gerenciem-na por meio de um sistema conectado (Hirt; Sahakian; Trutnevskyte, 2022).
		Disponibilização de tecnologias consideradas como medidas de eficiência energética, necessárias ao empoderamento do cidadão (usuário)	O envolvimento dos cidadãos em programas de resposta à demanda (DR) exige que muitas barreiras sociais sejam ultrapassadas – por exemplo, falta de confiança que decorre de lacunas nas políticas, mitigada por políticas que incentivam a comunicação clara com os cidadãos (Nouri <i>et al.</i>, 2022). Outras barreiras estão relacionadas a barreiras regulatórias (Nouri <i>et al.</i>, 2022). São considerados facilitadores do empoderamento dos cidadãos medidas de eficiência energética como resposta à demanda (DR), sistemas de gerenciamento de energia (EMS), recursos de energia distribuídos (DERs), fontes de energia renováveis (RESS), sistemas de armazenamento de energia (ESSs) e mercados locais de energia (LEMs) (Nouri <i>et al.</i>, 2022).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F4 - Formação de mercado: a formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena no qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda); c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem essa formação (Bergek, 2019).	Estratégias para o gerenciamento da demanda de energia elétrica descentralizada	Políticas locais de atração de demanda	As políticas locais de atração de demanda podem ser politicamente mais viáveis, uma vez que os formuladores de políticas considerariam os benefícios econômicos potenciais da criação de mercado mais apropriáveis pelos atores locais (Gao; Rai, 2018). Para atingir uma população mais ampla na transição para um sistema de energia mais descentralizado e renovável, independente das condições de vida e financeiras, as concessionárias de energia e os municípios devem lançar projetos de financiamento coletivo em nível municipal (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022).
		Conhecimento das demandas locais	Aprender sobre fatores locais relevantes para projetos e instalações de sistemas fotovoltaicos, como estruturas locais de telhados, códigos e padrões, cadeia de suprimentos e a natureza da demanda do consumidor, fornece mais oportunidades para os prestadores de serviços, como instaladores locais, especialmente nas fases iniciais do mercado (Gao; Rai, 2018).
		incentivos para fomentar a implantação de redes inteligentes	As redes inteligentes permitirão uma gestão inovadora do lado da demanda , beneficiando-se da precificação dinâmica da eletricidade, da difusão da mobilidade elétrica e da introdução de sistemas de armazenamento de eletricidade (Bari <i>et al</i> , 2014). No entanto, as características econômicas do setor elétrico tendem a desestimular os investimentos em redes inteligentes (Poudineh; Jamasb, 2014)

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F4 - Formação de mercado: a formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena no qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda); c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem essa formação (Bergek, 2019).	Análise dos efeitos dos subsídios governamentais sobre o uso da geração distribuída	Políticas de incentivo a ERs ou à energia PV	Existe uma correlação entre as políticas de incentivo às fontes de energia renovável (ER), incluindo feed-in tariff (FIT), net metering, incentivos fiscais, subsídios, fundos e leilões, e o desenvolvimento de fontes de energia renovável em 18 países da América Latina (Gil <i>et al.</i>, 2020). Países como os Estados Unidos e a Alemanha, que hoje possuem um mercado bem desenvolvido para sistemas fotovoltaicos, receberam doações diretas e subsídios para estimular o desenvolvimento da tecnologia (Kihlström; Elbe, 2021). O mercado asiático, liderado pela China e pela Índia, recebeu subsídios e reduções de impostos para aumentar a eficiência da produção (Kihlström; Elbe, 2021). Países que atualmente têm forte presença de energia fotovoltaica (Alemanha e Espanha, entre outros) indicam como maior entrave a esse tipo de energia o alto custo dos painéis solares (Coria; Penizzotto; Pringles, 2019). Embora esse custo tenha diminuído significativamente, ainda permanece alto (Fu <i>et al.</i>, 2017). Por isso, políticas de incentivo e mecanismos regulatórios foram instituídos para incentivar a expansão dessa tecnologia (Coria; Penizzotto; Pringles, 2019). Destacam-se aqui os mecanismos mais conhecidos: feed-in tariff (FIT), net metering (NM) e net billing (NB) (Coria; Penizzotto; Pringles, 2019).
		Levantamento de fatores econômicos que inibem a demanda de energia PV	Os baixos preços da eletricidade, resultantes de subsídios governamentais, as altas taxas de inflação e de juros, o financiamento difícil de projetos e o baixo poder de compra médio inibem a demanda por sistemas fotovoltaicos (Schaube; Ise; Clementi, 2022).

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F4 - Formação de mercado: a formação de mercado refere-se à abertura de um espaço ou arena no qual bens e serviços podem ser trocados de forma semiestruturada entre fornecedores e compradores. a) Descrição simplificada: números de vendas e instalações; descrições das políticas públicas que foram implementadas para as tecnologias em questão (subsídios, investimento e isenções fiscais, políticas de preços e instalação obrigatórias); b) Visão mais ampla: inclui mecanismos de conscientização (demonstração e comunicação boca a boca entre usuários e a atuação de instaladores e de empresas de serviços no pós-venda); c) Contextos local, regional ou nacional que propiciem essa formação (Bergek, 2019).	Análise dos efeitos dos subsídios governamentais sobre o uso da geração distribuída	Incentivos financeiros para a difusão de tecnologias de energia renovável	Devido aos altos custos de capital associados às tecnologias de energia renovável, cada região e país deve implementar políticas e regulamentos eficazes que incluam incentivos financeiros para a instalação de tecnologias renováveis, como direitos de importação concessionais, benefícios fiscais especiais para consumo, benefícios fiscais para empresas e indivíduos (incluindo isenções fiscais, créditos e deduções, depreciação acelerada), subsídios contra custos de investimento , empréstimos a juros baixos e preços <i>premium</i> de compra de energia (Ali <i>et al.</i> , 2017; Rohankar <i>et al.</i> , 2016).
		Influência das políticas tarifárias e políticas de <i>net metering</i>	Muitos países utilizam uma tarifa crescente de eletricidade em bloco, com clientes de maior consumo pagando mais por unidade de eletricidade (Matsuo, 2019). Esse subsídio cruzado (mecanismo de redistribuição de renda) pode levar a uma adoção desigual de PV distribuído (Matsuo, 2019). O aumento da tarifa de energia elétrica afeta os consumidores cativos, uma vez que prosumidores compensam este aumento com créditos de energia. Deste modo, os consumidores cativos acabam patrocinando indiretamente a inserção da geração distribuída (Fiuza <i>et al.</i> , 2022, Picciariello <i>et al.</i> , 2015). Segundo estudo realizado por pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), o problema do <i>net metering</i> e, portanto, o subsídio cruzado relacionado à aplicação de tarifas volumétricas monomiais ou binárias (Martins; Branco; Hallack, 2022).

Fonte: autoria própria (2024).

4.3.5 Mobilização de recursos (econômicos, humanos e técnicos)

O desenvolvimento econômico e o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) são impulsionados pelo financiamento, seja pelo investimento estrangeiro direto (IED) aplicado em inovação tecnológica limpa (Ali *et al.*, 2021), ou pela poupança interna, pois observa-se nesta conjuntura que a quantidade de financiamento destinado à pesquisa e desenvolvimento (em porcentagem do PIB) na produção e inovação de energia renovável é diretamente correlacionada com o grau de sustentabilidade das economias (Shen *et al.*, 2021). A Comissão Europeia, por exemplo, prioriza investimentos em P&D de projetos relacionados à aceleração de redes inteligentes e implantação de armazenamento (Kubli; Looock; Wüstenhagen, 2018). Da mesma forma, a maioria dos países líderes na produção de energia fotovoltaica (China, Japão, Alemanha e Estados Unidos) recebem financiamento do governo para melhorar e fortalecer sua estrutura para pesquisas em tecnologias fotovoltaicas (Franco; Groesser, 2021). Portanto, os investimentos em infraestruturas físicas (tais como centros de P&D, laboratórios, matérias-primas etc.) e orçamentos para despesas suficientes em P&D nos setores público e privado indicam a capacidade de gerar recursos humanos qualificados e/ou atrair conhecimento de fora (Esmailzadeh *et al.*, 2020a).

No Quadro 12 apresentam-se os dados identificados para a análise de conteúdo da Função 5.

Quadro 12 – Análise de conteúdo – F5

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F5 - Mobilização de recursos: a) Recursos financeiros: 1- Financiamento público - em PD&D de fontes nacionais e internacionais; 2 - Financiamento privado - de grandes empresas estabelecidas ou fundos privados investidores; b) Recursos humanos: 1 - educação universitária, programas de educação, especialmente em contextos de países em desenvolvimento; 2 - tipos de competências e habilidades exigidas no SIT. c) Infraestrutura: 1 - Recursos físicos, como laboratórios de P&D, instalações de teste e infraestrutura (por exemplo, redes elétricas); 2 - Identificação de recursos físicos ausentes; 3 - Recursos existentes que possam ser explorados; 4 - Recursos não diretamente relacionados à inovação, por exemplo, logística, instalações de produção ou redes de transmissão (Bergek, 2019).	Poder econômico dos consumidores	Capacidades e recursos (econômicos, humanos e técnicos) necessários para a aquisição e manutenção de sistemas solares domésticos	Os sistemas solares domésticos que incluem maiores capacidades fotovoltaicas e sistemas de armazenamento tendem a ser mais atraentes para pessoas com mais recursos econômicos, mas exigem maior conhecimento técnico para instalá-los e apresentam um número maior de falhas do que os sistemas convencionais (Eras-Almeida; Egido-Aguilera, 2020).
	Apoio financeiro aos usuários de tecnologias de produção de energia descentralizada	Investimento em P&D em projetos relacionados a redes inteligentes e armazenamento de energia	Quanto maior o montante de financiamento na forma de P&D (em relação ao PIB) na produção e inovação de energia e de energia renovável, maior será o ambiente sustentável nas economias (Shen <i>et al.</i>, 2021). A Comissão Europeia está investindo em financiamento de P&D em projetos relacionados à aceleração de redes inteligentes e à implantação de armazenamento (Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F5 - Mobilização de recursos: a) Recursos financeiros: 1- Financiamento público - em PD&D de fontes nacionais e internacionais; 2 - Financiamento privado - de grandes empresas estabelecidas ou fundos privados investidores; b) Recursos humanos: 1 - educação universitária, programas de educação, especialmente em contextos de países em desenvolvimento; 2 - tipos de competências e habilidades exigidas no SIT. c) Infraestrutura: 1 - Recursos físicos, como laboratórios de P&D, instalações de teste e infraestrutura (por exemplo, redes elétricas); 2 - Identificação de recursos físicos ausentes; 3 - Recursos existentes que possam ser explorados; 4 - Recursos não diretamente relacionados à inovação, por exemplo, logística, instalações de produção ou redes de transmissão (Bergek, 2019).	Financiamentos à infraestrutura tecnológica do setor elétrico	Capacidade de gerar recursos humanos qualificados	Recursos como infraestruturas físicas (tais como centros de P&D, laboratórios, matérias-primas etc.) e orçamento e despesas suficientes em P&D nos setores público e privado indicam a capacidade de gerar recursos humanos qualificados ou de atrair conhecimento de fora (Esmailzadeh <i>et al.</i>, 2020a). A maior parte dos países líderes na produção de painéis PV (China, Japão, Alemanha e Estados Unidos) destinam fundos governamentais para melhorar e fortalecer suas capacidades básicas de pesquisa e infraestrutura de PV (Franco; Groesser, 2021).
		Fundos governamentais para desenvolvimento da ESFV	A falta de recursos humanos é um problema infraestrutural, pois a falta de pessoal qualificado implica, por conseguinte, uma infraestrutura de conhecimento inexistente ou deficiente (Kriechbaum; Brent; Posch, 2018). As instituições de um determinado setor incluem a infraestrutura ao redor e os ambientes estruturais favoráveis, que permitem a inovação (Hansen <i>et al.</i>, 2018). Essas instituições podem ser formais ou informais, com leis, regulamentos e padrões (instituições tangíveis e formais) e normas, hábitos e rotinas (instituições informais), devido às interações frequentes entre os atores (Hansen <i>et al.</i>, 2018).
		Investimento na qualificação de pessoas A organização institucional do setor deve permitir a inovação	

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F5 - Mobilização de recursos: a) Recursos financeiros: 1- Financiamento público - em PD&D de fontes nacionais e internacionais; 2 - Financiamento privado - de grandes empresas estabelecidas ou fundos privados investidores; b) Recursos humanos: 1 - educação universitária, programas de educação, especialmente em contextos de países em desenvolvimento; 2 - tipos de competências e habilidades exigidas no SIT. c) Infraestrutura: 1 - Recursos físicos, como laboratórios de P&D, instalações de teste e infraestrutura (por exemplo, redes elétricas); 2 - Identificação de recursos físicos ausentes; 3 - Recursos existentes que possam ser explorados; 4 - Recursos não diretamente relacionados à inovação, por exemplo, logística, instalações de produção ou redes de transmissão (Bergek, 2019).	Investimento no mercado tecnológico de energia renovável	Investimentos diretos, inclusive estrangeiros, em P&D de inovação tecnológica limpa	O impacto da inovação tecnológica limpa por meio do financiamento de P&D atraiu considerável atenção de pesquisadores e formuladores de políticas, especialmente após a crise financeira mundial (Ali <i>et al.</i> , 2021). O financiamento, particularmente o investimento estrangeiro direto , contribui para o desenvolvimento econômico, melhora o PIB e impulsiona o progresso tecnológico (Ali <i>et al.</i> , 2021).

Fonte: autoria própria (2024).

4.3.6 Legitimação

O envolvimento e as interações dos atores são influenciados pelas condições oferecidas pelo ambiente institucional (Hansen *et al.*, 2018). Assim, para se obter os benefícios econômicos e técnicos dos recursos de energia distribuídos nos mercados elétricos globais é necessário identificar quais barreiras regulatórias precisam ser removidas, quais os possíveis conflitos de interesse setoriais precisam ser tratados,

além de se buscar garantir a equidade social para o acesso a estas tecnologias (Martins; Branco; Hallack, 2022). Tal como no modelo institucional local, leis e regulamentos codificados, bem como normas informais, afetam a estrutura e o comportamento de determinado mercado (Fligstein, 1996). Nesse contexto, são os governos que devem desempenhar este papel decisivo, pois criam as instituições formais (Kihlström; Elbe, 2021), enquanto a capacidade administrativa destas instituições (capacidade institucional) é decisiva para o desenvolvimento de iniciativas de governos locais, que podem incluir a utilização de tecnologias de energias renováveis por associações locais de bairros, acesso barato a painéis solares, fundos para apoiar o desenvolvimento de energia comunitária e outros mecanismos de apoio ao uso e desenvolvimento de RE em infraestrutura e serviços próprios das cidades (Brisbois, 2020). Desse modo, entende-se que para o desenvolvimento de um mercado da tecnologia fotovoltaica é necessário o alinhamento entre atores fortes e a transformação institucional formal (Del Río; Peñasco; Mir-Artigues, 2018).

Outro papel igualmente importante dos governos é o de grande usuário das tecnologias energéticas emergentes (Mowery; Nelson; Martin, 2010). As políticas de compras públicas podem incentivar a adoção de tecnologias ou suas aplicações, por meio de regulamentações específicas, como metas de desempenho ou emissão, ou incentivos financeiros específicos, conhecidos como créditos fiscais, que podem estimular a adoção dessas tecnologias (Silva; Jannuzzi, 2019).

Da mesma maneira, outro aspecto de destaque no desenvolvimento tecnológico remete à responsabilidade ambiental, considerada atualmente um dos principais impulsionadores da tecnologia energética (Nevzorova; Karakaya, 2020). As políticas que tratam da questão da gestão de resíduos, de diretrizes para aterros sanitários e de projetos com soluções circulares (projetos de inovação em economia circular), servem como instrumentos de difusão e de redução de barreiras ao desenvolvimento tecnológico (Nevzorova; Karakaya, 2020).

No Quadro 13 encontra-se os principais elementos relacionados à Função 6.

Quadro 13 – Análise de conteúdo – F6

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F6 - Legitimação: a) fases iniciais: O desempenho da tecnologia é mecanismo de legitimação ou pode ter efeitos deslegitimadores; avaliações independentes de especialistas e cientistas também são legitimadoras; b) Indústrias já estabelecidas: legitimidade construída ao longo do tempo e baseada no poder econômico; no entanto, a legitimidade pode ser questionada quanto a questões ambientais ou de saúde; c) <i>lobby</i>: grupos de interesses atuando para obter a atenção de formuladores de políticas para uma determinada tecnologia ou indústria (Bergek, 2019).	Instrumentos políticos do problema <u>ambiental</u>, relacionados à produção de equipamentos fotovoltaicos	Responsabilidade ambiental	A responsabilidade <u>ambiental</u> é um impulsionador importante de tecnologias energéticas (Nevzorova; Karakaya, 2020). Instrumentos políticos que tratam do problema dos resíduos e suas soluções impulsionam a difusão de tecnologias (Nevzorova; Karakaya, 2020). Estes incluem diretivas para aterros sanitários e políticas para resíduos sólidos (Nevzorova; Karakaya, 2020).
		Projetos com soluções circulares (projetos de inovação em economia circular)	Projetos internacionais, além de contribuir para a difusão de conhecimentos, criar tecnologias e realizar o potencial de desenvolvimento, fornecem soluções circulares para os resíduos e reduzem <u>barreiras de desenvolvimento tecnológico</u> (Nevzorova; Karakaya, 2020).
	Identificação das <u>barreiras</u> ao desenvolvimento tecnológico da GD e da ESFV	Identificação de riscos a desenvolvedores e investidores de projetos fotovoltaicos	Desenvolvedores e investidores de projetos fotovoltaicos enfrentam altos riscos políticos, macroeconômicos e tecnológicos (Waissbein <i>et al.</i>, 2013). Esses riscos se manifestam em altos custos de financiamento e são refletidos em <u>barreiras informacionais, técnicas, regulatórias, financeiras e administrativas</u>, percebidas ou reais, e em seus riscos de investimento associados (Waissbein <i>et al.</i>, 2013). Os riscos podem estar presentes em nível nacional e internacional (por exemplo, riscos políticos de instabilidade do governo, riscos macroeconômicos de flutuações cambiais etc.) (Dobrotkova; Surana; Audinet, 2018).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F6 - Legitimação: a) fases iniciais: O desempenho da tecnologia é mecanismo de legitimação ou pode ter efeitos deslegitimadores; avaliações independentes de especialistas e cientistas também são legitimadoras; b) Indústrias já estabelecidas: legitimidade construída ao longo do tempo e baseada no poder econômico; no entanto, a legitimidade pode ser questionada quanto a questões ambientais ou de saúde; c) <i>lobby</i>: grupos de interesses atuando para obter a atenção de formuladores de políticas para uma determinada tecnologia ou indústria (Bergek, 2019).	Identificação das barreiras ao desenvolvimento tecnológico da GD e da ESFV	Políticas que promovam, por meio de comunicação clara com os cidadãos, a informação e o conhecimento sobre eficiência energética e produtos sustentáveis	As redes inteligentes e os recursos distribuídos são um assunto importante para especialistas, mas os consumidores comuns de eletricidade não estão familiarizados com as questões a eles relacionadas, porque a difusão no mercado de massa ainda está por vir (Kubli; Looock; Wüstenhagen, 2018). Assim, é o consumidor final o maior gargalo na adoção da flexibilidade distribuída. Barreiras sociais, como a falta de confiança que decorre de lacunas nas políticas, podem ser parcialmente mitigadas por políticas que incentivam a comunicação clara com os cidadãos (Nouri <i>et al.</i>, 2022). A falta de informação e conhecimento sobre eficiência energética e produtos sustentáveis, ou a percepção dos cidadãos sobre altos investimentos e longos prazos de retorno relacionados a essas tecnologias são questões importantes e que devem ser esclarecidas aos usuários finais (Nouri <i>et al.</i>, 2022).
	Identificação das barreiras ao desenvolvimento tecnológico da GD e da ESFV	Identificação dos efeitos econômicos e das barreiras regulatórias	Para que o potencial econômico e técnico dos recursos distribuídos se desenvolva nos mercados elétricos mundiais, devem-se considerar os seus efeitos econômicos e identificar quais barreiras regulatórias precisam ser removidas, a fim de mitigar conflitos de interesse setoriais, manter a sustentabilidade financeira e a equidade social de acesso aos recursos de energia distribuídos (Martins; Branco; Hallack, 2022).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F6 - Legitimação: a) fases iniciais: O desempenho da tecnologia é mecanismo de legitimação ou pode ter efeitos deslegitimadores; avaliações independentes de especialistas e cientistas também são legitimadoras; b) Indústrias já estabelecidas: legitimidade construída ao longo do tempo e baseada no poder econômico; no entanto, a legitimidade pode ser questionada quanto a questões ambientais ou de saúde; c) <i>lobby</i>: grupos de interesses atuando para obter a atenção de formuladores de políticas para uma determinada tecnologia ou indústria (Bergek, 2019).	Capacidade <u>institucional</u> do setor elétrico em promover tecnologias de geração de energia descentralizada	Mecanismos governamentais de apoio ao acesso à GD/ESFV	Destaca-se a importância da <u>capacidade institucional</u> para o desenvolvimento de iniciativas de governos locais que possibilitem, por exemplo, o acesso barato a painéis solares aos cidadãos, o desenvolvimento de sistemas de energias renováveis por associações locais de bairros, fundos para apoiar o desenvolvimento de energia comunitária e outros mecanismos de apoio ao uso e desenvolvimento de energia renovável em infraestrutura e serviços próprios da cidade (Brisbois, 2020).
	Capacidade <u>institucional</u> do setor elétrico em promover tecnologias de geração de energia descentralizada	Identificação do modelo institucional do setor	<u>Instituições formais</u>, como leis e regulamentos codificados, bem como normas informais, afetam a estrutura e o comportamento do mercado (Fligstein, 1996). Os governos desempenham, portanto, um papel crucial, pois criam instituições formais para controlar e moldar as estruturas do mercado (Kihlström; Elbe, 2021).
		Identificação dos principais atores do sistema	Na base de conhecimento pela experimentação estão a <u>mudança institucional</u> alinhada às necessidades da tecnologia de energia renovável e o surgimento de atores fortes que possam promover a nova tecnologia (Del Río; Peñasco; Mir-Artigues, 2018). As <u>condições institucionais</u> moldam o envolvimento e as interações dos atores e influenciam os processos de aprendizagem que levam ao acúmulo de conhecimentos e capacidades (Hansen <i>et al.</i>, 2018).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F6 - Legitimação: a) fases iniciais: O desempenho da tecnologia é mecanismo de legitimação ou pode ter efeitos deslegitimadores; avaliações independentes de especialistas e cientistas também são legitimadoras; b) Indústrias já estabelecidas: legitimidade construída ao longo do tempo e baseada no poder econômico; no entanto, a legitimidade pode ser questionada quanto a questões ambientais ou de saúde; c) <i>lobby</i>: grupos de interesses atuando para obter a atenção de formuladores de políticas para uma determinada tecnologia ou indústria (Bergek, 2019).	Quadro regulatório voltado à autoprodução e/ou consumo de energia renovável	Estrutura regulatória local que incentive tecnologias de energias renováveis	Os regulamentos da UE têm como objetivo incentivar a melhoria das tecnologias de energia renovável, colocando o consumidor no centro dos mercados e das políticas (Adeyeye <i>et al.</i>, 2021). As comunidades podem se beneficiar de políticas e incentivos favoráveis para promover a autoprodução e/ou consumo de energia renovável em graus diferentes, dependendo da estrutura regulatória de cada região da UE (Adeyeye <i>et al.</i>, 2021).
		Governos como usuários das novas tecnologias energéticas	Os governos são usuários importantes das novas tecnologias energéticas (Mowery; Nelson; Martin, 2010). As políticas de compras públicas podem promover tecnologias ou suas aplicações por meio de regulamentações específicas (por exemplo, metas de emissão ou desempenho) ou de incentivos financeiros específicos (créditos fiscais), que podem estimular a adoção dessas tecnologias (Silva; Jannuzzi, 2019).
		Custos de investimento relacionados à GD/ESFV	Os custos de investimento para instalações fotovoltaicas de geração distribuída consideradas pequenas dependem da estrutura regulatória local, do tamanho do mercado e da segmentação do mercado (Eras-Almeida; Egido-Aguilera, 2020).

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F6 - Legitimação: a) fases iniciais: O desempenho da tecnologia é mecanismo de legitimação ou pode ter efeitos deslegitimadores; avaliações independentes de especialistas e cientistas também são legitimadoras; b) Indústrias já estabelecidas: legitimidade construída ao longo do tempo e baseada no poder econômico; no entanto, a legitimidade pode ser questionada quanto a questões ambientais ou de saúde; c) lobby: grupos de interesses atuando para obter a atenção de formuladores de políticas para uma determinada tecnologia ou indústria (Bergek, 2019).	Quadro regulatório voltado à autoprodução e/ou consumo de energia renovável	Quadro regulatório e capacidade de atração de investimentos ao sistema (incentivo à inovação e melhoria do ambiente de negócios)	As redes inteligentes exigem grandes investimentos, especialmente em redes de distribuição (Cambini <i>et al.</i> , 2016; Dantas <i>et al.</i> , 2018). Esses gastos de capital estão relacionados à necessidade de substituir ativos existentes, instalar novos sistemas de automação e controle e fornecer infraestrutura de informação e comunicação (Cambini <i>et al.</i> , 2016; Dantas <i>et al.</i> , 2018). Como a distribuição de eletricidade é uma atividade regulada, a atratividade desses investimentos está ligada ao atual quadro regulatório (Cambini <i>et al.</i> , 2016; Dantas <i>et al.</i> , 2018).

Fonte: autoria própria (2024).

4.3.7 Desenvolvimento de externalidades positivas

Entre os fatores que influenciam o desenvolvimento tecnológico em mercados de energia renovável estão a preferência dos usuários por geração intermitente de eletricidade, aplicações e produtos secundários e a demanda crescente por valor agregado local, bem como pela segurança do abastecimento de energia (Del Río; Peñasco; Mir-Artigues, 2018). Pelo lado da oferta, observa-se em países da UE que as estratégias energéticas de longo prazo compreendem, além da segurança no abastecimento, critérios que favorecem a competitividade econômica e a responsabilidade com a proteção ambiental (Decourt, 2019). Com essas novas exigências do mercado de energias renováveis, surgem também novos modelos de negócios que ajudam a sociedade civil a caminhar para um futuro sustentável (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022). Entre estes, destaca-se o modelo em que se permite aos clientes usar seus próprios painéis fotovoltaicos e estrutura de apoio para produzir, armazenar e gerenciar eletricidade por meio de um sistema conectado (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022). Da mesma forma, medidas como a precificação dinâmica da eletricidade e a difusão da mobilidade elétrica permitirão uma gestão inovadora do lado da demanda a partir das redes inteligentes (Bari *et al.*, 2014).

Além das novas características requeridas na transição energética e que colocam o consumidor em papel central, como um agente produtor de energia ou prosumidor, outro benefício é oferecido por uma cadeia de valor solar fotovoltaica, que é a possibilidade de desenvolvimento social e econômico de cidades ou comunidades (Geall; Shean; Gongbuzeren, 2018; Matsuo, 2019). Isso porque uma cadeia de suprimentos irá demandar a criação de novas empresas e, consequentemente, novos empregos, como por exemplo para os profissionais de instalação e manutenção de painéis solares, ou ainda gerando renda extra para as famílias, se estas puderem vender a sua eletricidade excedente à rede (Geall; Shean; Gongbuzeren, 2018; Matsuo, 2019).

Por fim, considera-se, o desenvolvimento das cadeias de fornecimento de matérias-primas e/ou componentes, imprescindível para um sistema tecnológico e uma visão da cadeia de valor necessária quando se trata de materiais essenciais, como lítio, cobalto, níquel e grafite natural, em baterias de veículos elétricos, ou quando se trata de tecnologias de células solares com materiais como telúrio, gálio, índio e selênio (Franco; Groesser, 2021). Nessa situação, a formação de uma cadeia de suprimentos da geração distribuída fotovoltaica poderá beneficiar as cadeias de valor tanto de baterias de armazenamento quanto a de veículos elétricos, garantindo a sustentabilidade e a resiliência de suas cadeias de fornecimento, identificando riscos e flutuações (Franco; Groesser, 2021).

No Quadro 14, a seguir, são apresentadas as informações que serviram de base para a análise da Função 7.

Quadro 14 – Análise de conteúdo – F7

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F7 - Desenvolvimento de externalidades positivas: a maior parte dos estudos revisados não inclui essa função, pois diz respeito a SITs em uma fase inicial de desenvolvimento. Alguns aspectos relevantes podem ser derivados dos relatos empíricos: a) difusão das melhores práticas, criação de oportunidades para outros atores acessarem conhecimento altamente especializado sem os investimentos necessários; b) construção de uma cadeia de valor completa em torno da tecnologia focal. Obs.: o conceito de função não está diretamente relacionado ao sistema de inovação, mas sim ao sistema de produção e consumo (Bergek, 2019).	Perspectivas para a <u>armazenagem</u> de energia Garantia da manutenção do <u>abastecimento</u> de energia elétrica	Redes inteligentes e armazenamento de energia Segurança e qualidade no abastecimento da energia	A sociedade civil, no processo rumo a um futuro sustentável, por meio de novos modelos de negócios que permitam aos clientes consumirem eletricidade produzida por seus próprios painéis fotovoltaicos, bem como <u>armazenarem</u> e gerenciarem-na por meio de um sistema conectado (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022). O empoderamento dos cidadãos na transição energética inclui medidas de eficiência energética, como: resposta à demanda, sistemas de gerenciamento de energia, recursos de energia distribuídos, fontes de energia renováveis, <u>sistemas de armazenamento de energia</u> e mercados locais de energia (Nouri <i>et al.</i>, 2022). As redes inteligentes permitirão uma gestão inovadora do lado da demanda, beneficiando-se da precificação dinâmica da eletricidade, da difusão da mobilidade elétrica e da <u>introdução de sistemas de armazenamento de eletricidade</u> (Bari <i>et al.</i>, 2014). Fatores que influenciam o desenvolvimento tecnológico futuro: <u>segurança de abastecimento</u>, apoio direto do mercado para energias renováveis, preferência por não geração intermitente de eletricidade, aplicações secundárias avançadas e produtos secundários, demanda crescente por valor agregado local (Del Río; Peñasco; Mir-Artigues, 2018). O principal motor das estratégias energéticas de longo prazo na UE possui três pilares: competitividade econômica, <u>segurança de abastecimento</u> e proteção ambiental (Decourt, 2019).

(continua)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F7 - Desenvolvimento de externalidades positivas: a maior parte dos estudos revisados não inclui essa função, pois diz respeito a SITs em uma fase inicial de desenvolvimento. Alguns aspectos relevantes podem ser derivados dos relatos empíricos: a) difusão das melhores práticas, criação de oportunidades para outros atores acessarem conhecimento altamente especializado sem os investimentos necessários; b) construção de uma cadeia de valor completa em torno da tecnologia focal. Obs.: o conceito de função não está diretamente relacionado ao sistema de inovação, mas sim ao sistema de produção e consumo (Bergek, 2019).	Difusão tecnológica diferenciando nichos de mercado	Priorização do segmento rural	O segmento rural fora da rede foi fundamental para o avanço tecnológico. O desenvolvimento de uma cadeia de valor e o processo de aprendizagem de pioneiros na instalação de tecnologia fotovoltaica foram impulsionados por esse – embora pequeno, em termos de capacidade instalada – nicho de mercado (Schaube; Ise; Clementi, 2022).
		Atendimento de nichos sociais e tecnológicos	A inovação social é uma extensão do modo de otimização e solução de problemas, que são características importantes da inovação tecnológica centrada na eficiência (Wittmayer <i>et al.</i>, 2020). As inovações sociais em sistemas de energia são muitas vezes apreciadas como nichos sociais. Este enquadramento associa a inovação social com a busca de novidade radical e <i>upscaling</i> sistemático que também caracteriza nichos tecnológicos (por exemplo, painéis solares e veículos elétricos) (Wittmayer <i>et al.</i>, 2020).
	Identificação de atividades, atores e estágios da cadeia de valor da GD/ESFV	Desenvolvimento econômico e social de comunidades	A cadeia de valor solar fotovoltaica pode ser explorada também como uma forma de promover o desenvolvimento econômico das comunidades, seja por meio de empregos (por exemplo, na instalação) ou na geração de renda familiar adicional, no caso de as famílias poderem vender eletricidade à rede (Geall; Shean; Gongbuzeren, 2018; Matsuo, 2019).

(conclusão)

Categorias de contexto	Categorias de análise	Unidades de registro	Unidades de contexto
F7 - Desenvolvimento de externalidades positivas: a maior parte dos estudos revisados não inclui essa função, pois diz respeito a SITs em uma fase inicial de desenvolvimento. Alguns aspectos relevantes podem ser derivados dos relatos empíricos: a) difusão das melhores práticas, criação de oportunidades para outros atores acessarem conhecimento altamente especializado sem os investimentos necessários; b) construção de uma cadeia de valor completa em torno da tecnologia focal. Obs.: o conceito de função não está diretamente relacionado ao sistema de inovação, mas sim ao sistema de produção e consumo (Bergek, 2019).	Identificação de atividades, atores e estágios da cadeia de valor da GD/ESFV	Sustentabilidade e resiliência das cadeias de fornecimento de matérias primas e/ou componentes essenciais.	Uma visão da cadeia de valor é necessária quando se trata de materiais essenciais, como lítio, cobalto, níquel e grafite natural em baterias de veículos elétricos, ou quando se trata de materiais como telúrio, gálio, índio e selênio, em tecnologias de células solares de película fina. (Franco; Groesser, 2021). As partes interessadas podem se preparar para interrupções iminentes no fornecimento e garantir a sustentabilidade e a resiliência de suas cadeias de fornecimento, identificando riscos e flutuações nas cadeias de valor de baterias fotovoltaicas e de veículos elétricos (Franco; Groesser, 2021).
		Interação dos atores na cadeia de valor	A implantação de uma tecnologia permite que os atores da cadeia de valor desenvolvam habilidades organizacionais e tecnológicas por meio do aprendizado prático (usando uma tecnologia ou interagindo com outras partes da cadeia de valor da tecnologia (Matsuo, 2019).

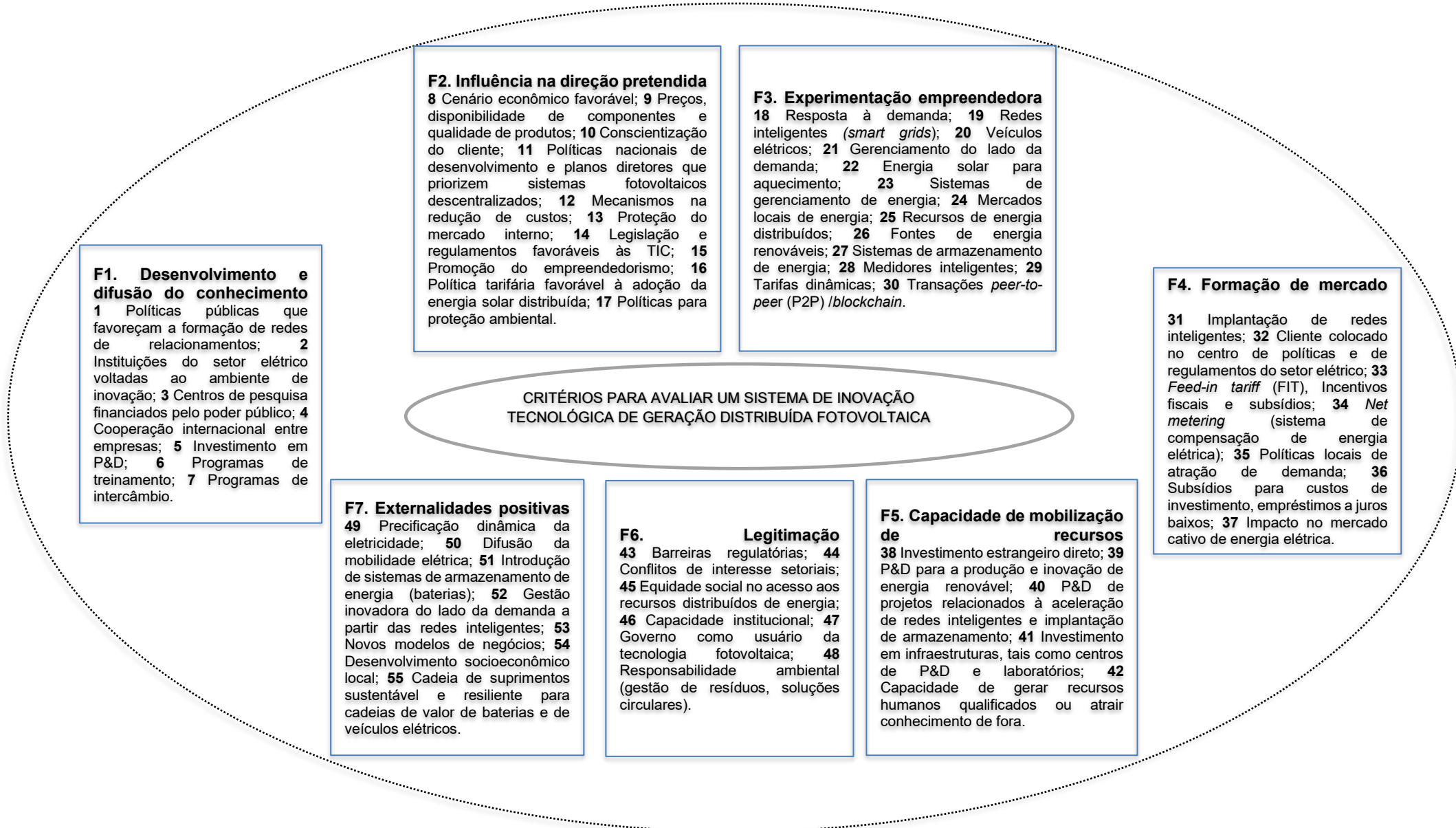
Fonte: autoria própria (2024).

4.4 Critérios para a avaliação do SIT da geração distribuída fotovoltaica

Após nova análise e seleção das unidades de registro, em confronto com a análise funcional do SIT, foram identificados os critérios úteis à avaliação de um sistema de inovação tecnológica de geração distribuída fotovoltaica, conforme resumo apresentado na Figura 13.

Este levantamento final responde ao objetivo principal desta pesquisa, ao propor 55 critérios para determinar o desempenho (isto é, identificar forças e fraquezas) do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída de energia solar fotovoltaica.

Figura 13 – Modelo para análise de sistemas de inovação tecnologia da geração distribuída fotovoltaica



Fonte: autoria própria (2024).

A interpretação dos dados obtidos identifica quais fatores podem impulsionar ou bloquear o SIT da GD FV, como o cenário econômico local e a disposição à aceitação da tecnologia, fortemente influenciada por questões relacionadas aos custos de aquisição e à consciência ambiental do usuário/consumidor. Além dos aspectos econômicos e ambientais, os critérios propostos envolvem a digitalização do setor elétrico e têm, como atores centrais do sistema de inovação tecnológica: governos, universidades e instituições de ciência, tecnologia e inovação; instituições do setor elétrico; iniciativa privada, por meio de indústrias e prestadores de serviços; e a sociedade civil, principalmente o consumidor, em papel ativo ou como prossumidor de energia.

Conforme o modelo de análise do SIT, a **Função 1**, desenvolvimento e difusão do conhecimento, a produção e a difusão de conhecimento tecnológico do mercado fotovoltaico dependem de políticas públicas que favoreçam a formação de redes de relacionamentos (Bergek, 2019; Silva; Jannuzzi, 2019). Depende também de instituições do setor elétrico que favoreçam o ambiente de inovação e o envolvimento e interações entre os atores desse sistema (Hansen *et al.*, 2018), a fim de estabelecer uma base de conhecimento tecnológico e a criação de valor industrial (Nevzorova; Karakaya, 2020).

Neste contexto, cita-se a necessidade de investimento em P&D, nos setores público e privado (Esmailzadeh *et al.*, 2020a), a relevância dos centros de pesquisa, universidades, institutos de pesquisa, na produção e troca de conhecimento em nível nacional e internacional, com igual destaque ao papel das empresas de tecnologia fotovoltaica que através da cooperação internacional entre projetos e programas internos de treinamento podem contribuir para a formação de habilidades da mão de obra (Bergek, 2019; Esmailzadeh *et al.*, 2020b; Nevzorova; Karakaya, 2020; Matsuo, 2019).

Para a expansão da tecnologia fotovoltaica, a análise da **Função 2**, influência na direção pretendida, aponta para a inclusão da PV em políticas em nível nacional, em planos diretores e estratégias de desenvolvimento regional que promovam o empreendedorismo (Hacking; Pearson; Eames, 2019; Hansen *et al.*, 2018). Para que novas empresas sejam atraídas ao mercado fotovoltaico estas organizações devem perceber oportunidades de negócios no novo sistema (Bergek; Hekkert; Jacobsson,

2007). O cenário econômico local, que considera o poder de compra médio, taxas de inflação e de juros, os preços da eletricidade e preços e disponibilidade dos componentes fotovoltaicos influenciam diretamente a demanda por sistemas fotovoltaicos (Schaube; Ise; Clementi, 2022). A atração de novos entrantes, portanto, poderá ocorrer por incentivos de preços, como a redução de impostos sobre o preço da energia elétrica (Bergek et al., 2008; (Schaube; Ise; Clementi, 2022). Ainda por meio de subsídios e investimentos com apoio financeiro do governo para pesquisas que possibilitem a redução de custos e maior qualidade dos produtos (Kihlström; Elbe, 2021).

Para atrair o consumidor, uma possibilidade é a adoção da política tarifária crescente de eletricidade, sob a qual clientes com mais consumo pagam mais por unidade de eletricidade e a política de *net metering*, em que a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade (Matsuo, 2019). Entretanto, estes benefícios podem gerar subsídio cruzado e a promover a desigualdade na difusão de energia solar distribuída (Matsuo, 2019). Além dos aspectos econômicos para se criar um ambiente de negócios atrativo, as políticas públicas voltadas ao setor elétrico devem favorecer o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes (Lin *et al.*, 2013), e levar em conta a questão da proteção ambiental (Nevzorova; Karakaya, 2020; United Nations Framework Convention on Climate Change, 2018).

Conforme previsto na **Função 3**, experimentação empreendedora, para Bergek, Hekkert e Jacobsson, (2007), as novas tecnologias, como a fotovoltaica, devem ser combinadas com outras inovações tecnológicas dentro do SIT para criar oportunidades de negócios e atender às demandas e ao processo de aprendizado sociais. O empoderamento dos cidadãos na transição energética está intimamente relacionado às políticas que incentivam o uso de energias renováveis (ER), às medidas de eficiência energética e à automação da rede de distribuição, a partir da inclusão de tecnologias e conceitos como recursos de energia distribuídos (DERs), mobilidade elétrica (VE), sistemas de armazenamento de eletricidade (ESS), redes elétricas inteligentes (*smart grids*), o que permite a gestão inovadora do lado da demanda (GLD), (Bari *et al.*, 2014; Dantas *et al.*, 2018; Diestelmeier, 2019, Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018;; Nouri *et al.*, 2022; Siano, 2014).

A **Função 4**, formação de mercado (local), refere-se ao ambiente e ao

estabelecimento de padrões e regras de troca para o atendimento de determinadas demandas (Dewald; Truffer, 2012), e, consiste principalmente na adesão/aceitação da tecnologia (número de vendas), e nas políticas públicas implementadas para o seu desenvolvimento (Bergek, 2019). Para expandir o mercado fotovoltaico, cada região deve estabelecer locais de atração (demanda) e regulamentos eficientes que incluam incentivos financeiros, incluindo créditos e deduções, depreciação acelerada e subsídios para custos de investimento, empréstimos a juros baixos e preços *premium* de compra de energia (Ali *et al.*, 2017; Gao; Rai, 2018; Rohankar *et al.*, 2016).

Pelo lado da demanda, os exemplos são de políticas e incentivos relacionados à autoprodução de energia elétrica, e consumo de energia renovável, ou de projetos para o financiamento coletivo de sistemas de energia descentralizados e renováveis, visando atingir uma população mais ampla (Adeyeye *et al.*, 2021; Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022).

Um sistema de inovação depende de recursos, que podem ser ativos ou capitais (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Assim, para avaliar o potencial de um SIT, é necessário medir a sua capacidade de mobilizar competências e capital humano (**Função 5**), por meio de educação em áreas científicas e tecnológicas, empreendedorismo e gestão, o capital financeiro investido por empresas e governos e gama de ativos complementares, como produtos, serviços e infraestrutura (Bergek *et al.*, 2008). Destaca-se para o mercado fotovoltaico os investimentos em P&D relacionados à aceleração de redes inteligentes e a implantação de sistemas de armazenamento (Kubli; Loock; Wüstenhagen, 2018). Assim como, os investimentos em infraestruturas físicas, como centros de pesquisa e laboratórios que indicam a capacidade de gerar recursos humanos qualificados (Esmailzadeh *et al.*, 2020a). Entretanto, o financiamento, seja pelo investimento estrangeiro direto (IED) ou pela poupança interna, destinados à pesquisa e desenvolvimento na produção e inovação de energia renovável (inovação tecnológica limpa), e para melhorar e fortalecer a estrutura para pesquisas em tecnologias fotovoltaicas, é diretamente correlacionada com o grau de sustentabilidade das economias (Ali *et al.*, 2021; Franco; Groesser, 2021; Shen *et al.*, 2021).

Para mobilizar recursos e permitir aos atores do SIT a capitalização de força política suficiente para formar a demanda, a nova tecnologia deve ser considerada

apropriada pelas instituições e atores relevantes (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). A legitimação (**Função 6**), trata do processo pelo qual as novas tecnologias adquirem legitimidade regulatória, normativa, e como são percebidas em relação ao respeito à valores sociais, normas e regras (Bergek, 2019), como, por exemplo, em relação a questões ambientais ou de saúde (Gabaldón-Estevan; Hekkert, 2013; Nevzorova; Karakaya, 2020).

Para obter legitimidade os mercados da tecnologia fotovoltaica globais, devem, portanto, identificar os valores e as necessidades, barreiras e conflitos setoriais, e buscar garantir a equidade social ao seu acesso (Martins; Branco; Hallack, 2022). Para isso é necessário o alinhamento entre os principais atores do SIT e as iniciativas dos governos locais, que por meio de suas instituições formais, propõe mecanismos de apoio ao uso e desenvolvimento da tecnologia, e fornece infraestrutura e serviços (Brisbois, 2020; Del Río; Mowery; Nelson; Martin, 2010; Kihlström; Jannuzzi, 2019; Peñasco; Elbe, 2021; Silva; Mir-Artigues, 2018).

O desenvolvimento de externalidades positivas (**Função 7**), ou utilidades livres, é essencial para a formação de sistemas de inovação (Bergek *et al.*, 2008; Porter, 2008). Externalidades positivas implica que outros atores poderão usufruir de utilidades gratuitas, em termos de desenvolvimento do conhecimento, redução da incerteza e legitimidade (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007), o que contribui para atrair participantes em um novo SIT (Bergek; Hekkert; Jacobsson, 2007). Ao mesmo tempo, contribui para a entrada de novas empresas no SIT emergente, o que é essencial para o desenvolvimento de externalidades positivas (Bergek *et al.*, 2008). Entre os fatores que influenciam o desenvolvimento tecnológico em mercados de energia renovável está a exigência por novos modelos de negócios (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022). Destacam-se, entre eles, modelos que permitem aos clientes usarem seus próprios painéis fotovoltaicos e estrutura para produzir, armazenar e gerenciar eletricidade (Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022). Também, beneficiando-se de uma precificação dinâmica da eletricidade e a inserção da mobilidade elétrica, permitindo uma gestão do lado da demanda, a partir das redes inteligentes (Bari *et al.*, 2014).

Além destas novas características requeridas na transição energética que colocam o consumidor em papel central, outra vantagem oferecida por uma cadeia de valor solar

fotovoltaica é a possibilidade de promover o crescimento social e econômico de comunidades ou cidade (Geall; Shean; Gongbuzeren, 2018; Matsuo, 2019). Isso se deve ao fato de que a cadeia de suprimentos exigirá a criação de novos negócios, o que resultará em novos empregos ou oportunidades de renda extras para as famílias se elas puderem vender a eletricidade excedente à rede (Geall; Shean; Gongbuzeren, 2018; Matsuo, 2019). Por fim, a criação de uma cadeia de suprimentos de geração distribuída fotovoltaica pode ajudar as cadeias de valor de baterias de armazenamento e veículos elétricos, aumentando a resiliência e a sustentabilidade das cadeias de fornecimento (Franco; Groesser, 2021).

Conforme apresentado na seção 3.5.1 Críticas e limitações da abordagem SIT – o modelo utilizado é questionado quanto a deixar de considerar a influência de fatores externos, orientando-se para dentro e não prestar atenção ao ambiente do sistema de inovação tecnológica (Markard; Truffer, 2008), o que pode levar a políticas incompletas, que ignoram aspectos importantes dos *drivers* e barreiras do sistema (Edsand, 2019). Entretanto, esta pesquisa identificou argumentos favoráveis à aplicação do modelo SIT à GD FV, como a importância dada às empresas de tecnologias da informação e comunicação (TIC), consideradas como impulsionadoras de inovações no setor elétrico (Dantas et al., 2018; (Lin et al., 2013), e a preocupação de o mercado de geração distribuída de fonte solar impactar negativamente no mercado cativo (distribuidoras e consumidores cativos) de energia, no caso de prossumidores compensarem com créditos a energia gerada como excedente (Fiuza et al., 2022; Picciariello et al., 2015).

Do mesmo modo, a segunda limitação apontada para a metodologia do SIT é de que a abordagem é baseada e aplicável ao apenas ao contexto de países desenvolvidos (Coenen; López, 2010; Edsand, 2019; Markard; Truffer, 2008). Apesar de se constatar que o financiamento e investimentos destinados à pesquisa e ao desenvolvimento na produção de inovação nos setores de energias renováveis dependem diretamente do grau de sustentabilidade das economias (Ali *et al.*, 2021; Shen *et al.*, 2021), foram identificados nesta pesquisa argumentos que apontam para a aplicabilidade do SIT em países em desenvolvimento. Por exemplo, Esmailzadeh *et al.*, (2020a) para mercados emergentes é importante a ação estatal de proteção do mercado interno por meio de políticas de isenções de impostos e incentivos fiscais

para empresas nacionais ou estrangeiras que invistam na implantação da energia fotovoltaica. De igual modo, regulamentos eficientes que incluam incentivos financeiros, como créditos e deduções, depreciação acelerada e subsídios para custos de investimento, empréstimos a juros baixos e preços *premium* de compra de energia (Ali et al., 2017; Rohankar et al., 2016; Gao; Rai, 2018).

Pelo lado da demanda, os exemplos são de políticas e incentivos relacionados à autoprodução de energia elétrica, e consumo de energia renovável, ou de projetos para o financiamento coletivo de sistemas de energia descentralizados e renováveis, visando atingir uma população mais ampla (Adeyeye *et al.*, 2021; Hirt; Sahakian; Trutnevyte, 2022). Ainda, podem ser implementadas políticas públicas de incentivo financeiros, como os mecanismos como *feed-in tariff* (FIT), *net metering* (NM) e *net billing* (NB) (Coria; Penizzotto; Pringles, 2019; Gil *et al.*, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste último capítulo são apresentadas as considerações derradeiras acerca do atendimento aos objetivos propostos e das limitações observadas durante a pesquisa, sugerindo-se trabalhos futuros para o desenvolvimento do tema.

5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DA PESQUISA

Para atender ao principal objetivo da pesquisa, de propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica, foram definidos três objetivos específicos.

Quanto ao primeiro deles, de identificar o estado da arte relacionado à discussão conjunta dos temas geração distribuída, energia solar e sistemas de inovação tecnológica, foi realizado um estudo de mapeamento sistemático de literatura apoiado na metodologia de *snowball sampling* (bola de neve). Conforme apresentado no Capítulo 2, nas Seções 2.2 e 2.3, o processo identificou 85 artigos, sendo estes classificados em relação à relevância, autoria, origens e periódicos que mais publicaram sobre o tema, verificando-se as características tecnológicas, os setores que as pesquisas objetivaram atingir e o levantamento das formas em que sistemas de inovação tecnológica foram discutidos nos artigos que compõem o

portfólio.

Quanto ao segundo objetivo específico, de categorizar o conteúdo da literatura selecionada, foi atingido no Capítulo 4, Seções 4.2 e 4.3, definindo-se as categorias de contexto e de análise, bem como as unidades de contexto e de registro, como principais resultados.

Para atender ao terceiro e último objetivo específico, de analisar as relações entre categorias definidas e seus principais elementos, definiu-se, no Capítulo 4, Seção 4.4, um modelo para análise de sistemas de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica produzido a partir da releitura das unidades de registro, analisadas sob o modelo de análise funcional do sistema de inovação tecnológica, conforme proposto por Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007).

Por fim, atingiu-se, com isso, o objetivo principal desta pesquisa, de propor critérios para a avaliação do sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica, com a apresentação de 55 critérios úteis à avaliação desse sistema de inovação, divididos entre as sete funções do SIT.

Os resultados mostram que, para acelerar a difusão da tecnologia de geração distribuída de fonte solar fotovoltaica e de produtos (bens e serviços) e processos relacionados ao sistema específico dessa tecnologia, é fundamental a ação dos governos e de suas organizações (especialmente em relação à infraestrutura institucional do setor elétrico), que, por meio de políticas públicas e regulamentações, são capazes de formar um mercado de geração distribuída fotovoltaica. Entretanto, para isso, a geração distribuída e a energia solar deverão ser contempladas em planejamentos estratégicos governamentais, compondo orçamentos para investimentos em infraestrutura física e em tecnologias digitais e tecnologias distribuídas, assim como para o fomento de conhecimento técnico voltado à produção e surgimento de inovação. Os investimentos devem ocorrer com o intuito de formar uma rede de atores, para que haja assim a produção, o compartilhamento e a difusão de conhecimento e uso de novos produtos (bens e serviços) e processos, em um ambiente de inovação tecnológica perene. Desse modo, o sistema poderá qualificar pessoas, formar uma cadeia de suprimentos e indústria resiliente e sustentável, assim como de empresas prestadoras de serviços capacitadas a atender demandas cada vez mais exigentes por inovações do setor elétrico global.

Destaca-se a necessidade de investimentos ainda em outras tecnologias distribuídas e soluções, dentro do SIT, que possibilitem a expansão e a consolidação da geração distribuída fotovoltaica. Como exemplo, às voltadas ao armazenamento de energia, à infraestrutura de carregamento para os veículos elétricos, às redes inteligentes, e demais recursos energéticos distribuídos (DERs). Estas tecnologias ao lado de políticas públicas que promovam a descentralização do mercado, alinhadas às tecnologias de informação e comunicação (TIC), são elementos fundamentais para a construção e planejamento urbano, de cidades inteligentes e infraestruturas urbanas integradas (Xie; He, 2023). Desta forma o SIT da geração distribuída fotovoltaica possibilita a redução da emissão de CO², evita investimentos adicionais em redes elétricas, contribui para o uso eficiente da energia nas cidades e autossuficiência energética local (Kara *et al.*, 2022; Miyasawa; 2022).

Por fim, conclui-se que a aplicação da abordagem funcional dos sistemas de inovação tecnológica, proposta por Bergek, Hekkert e Jacobsson (2007), ao sistema de geração distribuída fotovoltaica, forneceu um modelo de análise adaptado a esse sistema. Assim, a partir da análise dos critérios propostos nesta pesquisa, tem-se uma alternativa viável nos processos de identificar meios de acelerar a difusão tecnológica, determinar o desempenho do sistema e identificar suas forças e fraquezas, tornando possível subsidiar interessados, como empreendedores e formuladores de políticas, que precisam intervir para gerar, difundir e utilizar uma nova tecnologia.

5.2 Limitações da pesquisa

Durante o desenvolvimento da pesquisa foram identificadas possíveis limitações decorrentes das opções metodológicas, como escolhas realizadas durante o processo do mapeamento sistemático da literatura e do *snowballing*, como também na etapa da análise de conteúdo. Na etapa inicial da coleta de dados, a primeira limitação pode estar associada à escolha e à combinação de palavras-chave, pois é possível que artigos relevantes tenham sido inadvertidamente desconsiderados. A segunda limitação pode estar na escolha das bases consultadas (Web of Science e Scopus), pois ela pode ocultar a existência de outras pesquisas importantes que tratam simultaneamente dos temas SIT, GD e ESFV. Uma terceira limitação pode estar associada aos critérios e aos filtros de exclusão utilizados, que podem ter

excluído pesquisas importantes sobre os temas. Uma quarta limitação tem relação com a etapa de codificação e escolha das unidades de contexto por meio do MAXQDA. Por limitação do próprio *software*, a busca ocorreu mediante palavras simples (códigos), fato que impossibilitou a formação de códigos mais complexos, restringindo a busca e a identificação de assuntos importantes. A última limitação percebida se refere à escolha dos trechos selecionados (unidades de contexto) nos artigos. Nesta etapa considerou-se, na maioria dos casos, apenas o parágrafo em que o código (categoria de análise) estava presente, o que pode ter prejudicado a contextualização mais adequada para os temas selecionados, bem como a identificação de temas correlatos importantes.

5.3 Sugestões de trabalhos futuros

Devido às limitações apontadas, sugere-se, para trabalhos futuros, ampliar as investigações, utilizando-se outras bases científicas, e aplicar novas estratégias de busca e de filtragem nos documentos selecionados, visando qualificar o portfólio de artigos, a partir de dados e informações então obtidos na caracterização dos documentos, como as revistas com mais publicação e os autores mais importantes relacionados aos temas SIT, GD e ESFV.

Sugere-se ainda incluir, na busca de materiais, outras tecnologias e conceitos, como: redes inteligentes (*smart grids*); resposta à demanda (DR); difusão da mobilidade elétrica – veículos elétricos (VEs); gerenciamento do lado da demanda (GLD); energia solar para aquecimento; sistemas de gerenciamento de energia (EMSs); mercados locais de energia (LEMs); recursos de energia distribuídos (DERs); fontes de energia renováveis (RESs); sistemas de armazenamento de energia (ESSs); medidores inteligentes; transações *peer-to-peer* (P2P)/*blockchain*. Além disso, pode ser oportuna a análise de conceitos que envolvem incentivos, via tarifações dinâmicas, como *feed-in tariff* (FIT) e sistema de compensação (*net metering*). Esses temas foram identificados nesta pesquisa, como inovações tecnológicas aplicadas à modernização e à descentralização do setor elétrico, concluindo-se que são capazes de impulsionar e concretizar mercados/sistemas de energia solar e de geração distribuída (*on grid/off grid*).

A identificação ou proposta de indicadores de desempenho, a partir dos

critérios analíticos já definidos, para serem incorporados e formar assim um modelo funcional para medir o desempenho desses sistemas de inovação da geração distribuída fotovoltaica, ou para compreender a sua dinâmica, também pode ser implementado em pesquisa subsequente.

Por fim, seria apropriado que o modelo funcional do SIT, alinhado ao modelo analítico utilizado (proposição de critérios), bem como a possíveis indicadores de desempenho, fosse aplicado a determinado sistema de inovação tecnológica da geração distribuída fotovoltaica (de um país, estado, cidade ou região), para, assim, avaliar e validar mais apropriadamente, de forma regionalizada, o modelo.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: A definition. **Electric Power Systems Research**, Zurich, v. 57, p. 195-204, Dec. 2001.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779601001018>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ADEYEYE, K. *et al.* Socio-Technical Viability Framework for Micro Hydropower in Group Water-Energy Schemes. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 14, 4222, July 2021.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/14/4222>. Acesso em: 18 fev. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Micro e Minigeração Distribuída**. Saiba mais sobre micro e minigeração distribuída. Brasília, 2023a.

Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 23 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída**. Brasília, 2023b. Disponível em:

<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 24 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relação de empreendimentos de Geração Distribuída**. Brasília, 2023c. Disponível em:

<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empreendimentos-de-geracao-distribuida>. Acesso em: 24 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída** – Resolução Normativa nº 482/2012. Brasília, 2019. Disponível em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/air2019003srd.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Micro e minigeração distribuída apresenta acréscimo de 7,4 GW em 2023**. Brasília, 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/micro-e-minigeracao-distribuida-apresenta-acrescimo-de-7-4-gw-em-2023>. Acesso em: 4 ago. 2024.

AGOSTINHO, S. A. **Confissões**. Tradução de Lucia Maria Csernik. 1. ed. São Paulo. Canção Nova, 2007. E-book. Disponível em:

<https://www.baixelivros.com.br/religiao/confissoes-pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024.

ALI, A. *et al.* Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China. **Sustainability**, [s. l.], v. 9, n. 7, 1146, June 2017. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1146>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ALI, S. A. *et al.* A clean technological innovation and eco-efficiency enhancement: A

multi-index assessment of sustainable economic and environmental management.

Technological Forecasting and Social Change, [s. l.], v. 166, 120573, May 2021.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162521000056>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ALLAN, G. *et al.* The economics of distributed energy generation: a literature review.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 42, p. 543-556, Feb. 2015.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114005164>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ANDERSSON, J. E. *et al.* The critical role of informed political direction for advancing technology: The case of Swedish marine energy. **Energy Policy**, [s. l.], v. 101, p. 52-64, Feb. 2017. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v101y2017icp52-64.html>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BACH, H. *et al.* Implementing maritime battery-electric and hydrogen solutions: A technological innovation systems analysis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 87, 102492, Oct. 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/343809674_Implementing_maritime_battery-electric_and_hydrogen_solutions_A_technological_innovation_systems_analysis. Acesso em: 18 fev. 2024.

BADLAM, J.; COX, J. **The Inflation Reduction Act**: Here's what's in it. 2022.

Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/the-inflation-reduction-act-heres-whats-in-it#/. Acesso em: 28 out. 2023.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. 5. ed. São Paulo: Edições 70, 2021.

BARI, A. *et al.* Challenges in the smart grid applications: An overview. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 10, n. 2, Feb. 2014. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1155/2014/974682>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BENTO, N.; FONTES, M. Spatial diffusion and the formation of a technological innovation system in the receiving country: The case of wind energy in Portugal.

Environmental Innovation and Societal Transitions, [s. l.], v. 15, p. 158-179, June 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210422414000872?via%3Dihub>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BERGEK, A. *et al.* Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 407-429, Apr. 2008. Disponível em:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=905b32bd12f360b008eddb7b16169007d82211bc>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BERGEK, A. *et al.* Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 16, p. 51-64, Sept. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221042241530006X>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BERGEK, A. Technological innovation systems: a review of recent findings and suggestions for future research. In: BOONS, F.; MCMEEKIN, A. (ed.). **Handbook of Sustainable Innovation**. [S. l.]: Edward Elgar Publishing, 2019. p. 200-218.

BERGEK, A.; HEKKERT, M.; JACOBSSON, S. **Functions in innovation systems: A framework for analyzing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers**. RIDE/IMIT Working Paper No. 84426-008. [S. l.]: Institute for Management of Innovation and Technology (IMIT), [2007]. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=330702f4a473a5cdb2c47107286c39a66196533e>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BERGEK, A.; JACOBSSON, S.; SANDÉN, B. A. 'Legitimation' and 'development of positive externalities': two key processes in the formation phase of technological innovation systems. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 575-592, Sept. 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537320802292768>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BLEDA, M.; DEL RÍO, P. The Market Failure and the Systemic Failure Rationales in Technological Innovation Systems. **Research Policy**, [s. l.], v. 42, n. 5, p. 1039-1052, June 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733313000462?via%3Di> hub. Acesso em: 18 fev. 2024.

BLOOMBERGNEF (BNEF). **Energy Transition Investment Trends**: Executive Summary. 2023. Disponível em: <https://about.bnef.com/energy-transition-investment>. Acesso em: 28 out. 2023.

BOLLEN, M.; HASSAN, F. **Integration of Distributed Generation in the Power System**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011. Disponível em: <http://www.iqytechnicalcollege.com/BAE%20664-Distributed%20Generation%20in%20Power%20System.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá

outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 18 fev. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BELLI, L. *et al.* IoT-Enabled Smart Sustainable Cities: Challenges and Approaches. **Smart Cities**, v. 3, n. 3, p. 1039–1071, 18 set. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-6511/3/3/52>. Acesso em: 07 jul. 2024.

BRESCHI, S.; MALERBA, F. Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries. *In*: EDQUIST, C. (ed.). **Systems of Innovation**. Technologies, Institutions and Organizations. London: Routledge, 1997. Disponível em: https://charlesedquist.files.wordpress.com/2015/06/science-technology-and-the-international-political-economy-series-charles-edquist-systems-of-innovation_-technologies-institutions-and-organizations-routledge-1997.pdf. Acesso em: 18 fev. 2024.

BRISBOIS, M. C. Decentralised energy, decentralised accountability? Lessons on how to govern decentralised electricity transitions from multi-level natural resource governance. **Global Transitions**, [s. l.], v. 2, p. 16-25, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589791820300013>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BRÖRING, S. *et al.* The front end of innovation in an era of industry convergence: evidence from nutraceuticals and functional foods. **R&D Management**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 487-498, Nov. 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9310.2006.00449.x>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BROWN, D.; KIVIMAA, P.; SORRELL, S. An energy leap? Business model innovation and intermediation in the ‘Energiesprong’ retrofit initiative. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 58, 101253, Dec. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629619301616?via%3Di> hub. Acesso em: 18 fev. 2024.

BURGHARD, U. *et al.* Cross-border concentrated solar power projects - opportunity or dead end? A study into actor views in Europe. **Energy Policy**, [s. l.], v. 163, 112833, Apr. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421522000581>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CAMBINI, C. *et al.* Market and regulatory factors influencing smart-grid investment in Europe: Evidence from pilot projects and implications for reform. **Utilities Policy**, [s. l.], v. 40, p. 36-47, June 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095717871630073X>. Acesso em: 18 fev. 2024.

CARLEY, S. Distributed generation: an empirical analysis of primary motivators. **Energy Policy**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 1648-1659, May 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142150900010X>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CARLSSON, B. The New Economy: What is New and What is Not? *In*: CHRISTENSEN, J. F.; MASKELL, P. (ed.). **The Industrial Dynamics of the New Digital Economy**. Cheltenham: Edward Elgar, 2003. p. 13-32.

CARLSSON, B.; ELG, L.; JACOBSSON, S. Reflections on the co-evolution of innovation theory, policy and practice: the emergence of the Swedish agency for innovation systems. *In*: SMITS, R. E.; KUHLMANN, S.; SHAPIRA, P. (ed.). **The theory and practice of innovation policy**. An international research handbook. Cheltenham: Edward Elgar, 2010. p. 145-166.

CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of Evolutionary Economics**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 93-118, 1991. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01224915>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CARROLL, G. R. Long-term evolutionary changes in organizational populations: theory, models and empirical findings in industrial demography. **Industrial and Corporate Change**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 119-143, Jan. 1997. Disponível em: <https://academic.oup.com/icc/articleabstract/6/1/119/653945?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 18 fev. 2024.

CASTRO, N.; DANTAS, G. (org.). **Distributed Generation: International Experiences and Comparative Analyses**. Rio de Janeiro: Publit, 2017. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/40_ACD_Digital_Distributed_generation_ANTIGO.pdf. Acesso em: 30 nov. 2023.

CHEB, S. *et al.* Evaluation Model of Distributed Photovoltaic Utilization in Urban Built-Up Area. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 943, 29 mar. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/4/943>. Acesso em: 07 jul. 2024.

CHERP, A.; JEWELL, J.; GOLDTHAU, A. Governing global energy: systems, transitions, complexity. **Global Policy**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 75-88, Jan. 2011. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/palcomms201547>. Acesso em: 18 fev. 2024.

CHEN, N.; Okada, M. Toward 6G Internet of Things and the Convergence With RoF System. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 11, p. 8719–8733, 1 jun. 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9309383>. Acesso em: 07 jul. 2024.

COENEN, L.; LÓPEZ, F. J. D. Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: an explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities. **J. Clean. Prod.**, [s. l.], v. 18, n. 12, p. 1149-1160, Aug. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261000140X>. Acesso em: 18 fev. 2024.

COLAK, I. *et al.* Smart grid projects in Europe: Current status, maturity and future scenarios. **Appl Energy**, [s. l.], v. 152, p. 58-70, Aug. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915005619>. Acesso em: 18 fev. 2024.

COOKE, P.; URANGA, M. G.; ETXEBARRIA, G. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. **Res. Policy**, [s. l.], v. 26, p. 475-549, Dec. 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733397000255>. Acesso em: 18 fev. 2024.

CORIA, G.; PENIZZOTTO, F.; PRINGLES, R. Economic analysis of photovoltaic projects: The Argentinian renewable generation policy for residential sectors. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 133, p. 1167-1177, Apr. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118310486>. Acesso em: 18 fev. 2024.

COSTA, E. *et al.* Influence of public policies on the diffusion of wind and solar PV sources in Brazil and the possible effects of COVID-19. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 162, p. 112449, July 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122003550>. Acesso em: 18 fev. 2024.

DANTAS, G. de A. *et al.* Public policies for smart grids in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 92, p. 501-512, Sept. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118303071>. Acesso em: 18 fev. 2024.

DECOURT, B. Weaknesses and drivers for power-to-X diffusion in Europe. Insights from technological innovation system analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 44, n. 33, p. 17411-17430, July 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919320361>. Acesso em: 18 fev. 2024.

DEL RÍO, P.; PEÑASCO, C.; MIR-ARTIGUES, P. An overview of drivers and barriers to concentrated solar power in the European Union. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 81, p. 1019-1029, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117309784>. Acesso em: 30 nov. 2023.

DEWALD, U.; TRUFFER, B. The Local Sources of Market Formation: Explaining

Regional Growth Differentials in German Photovoltaic Markets. **European Planning Studies**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 397-420, Feb. 2012. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09654313.2012.651803>. Acesso em: 30 nov. 2023.

DIESTELMEIER, L. Changing power: Shifting the role of electricity consumers with blockchain technology – Policy implications for EU electricity law. **Energy Policy**, [s. l.], v. 128, p. 189-196, May 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518308711>. Acesso em: 18 fev. 2024.

DOBROTKOVA, Z.; SURANA, K.; AUDINET, P. The price of solar energy: Comparing competitive auctions for utility-scale solar PV in developing countries.

Energy Policy, [s. l.], v. 118, p. 133-148, July 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518301708>. Acesso em: 30 nov. 2023.

DRANKA, G. G.; FERREIRA, P. Towards a smart grid power system in Brazil: Challenges and opportunities. **Energy Policy**, [s. l.], v. 136, 111033, Jan. 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421519306202>. Acesso em: 30 nov. 2023.

DU, R. *et al.* The Sensable City: A Survey on the Deployment and Management for Smart City Monitoring. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 2, p. 1533–1560, 2019. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8533352>. Acesso em: 07 jul. 2024.

EDSAND, H.-E. Technological innovation system and the wider context: A framework for developing countries. **Technology in Society**, [s. l.], v. 58, 101150, Aug. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301222>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ELIA, A. *et al.* Impacts of innovation on renewable energy technology cost reductions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 138, 110488, Mar. 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120307747>. Acesso em: 30 nov. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2023**. Ano base 2022. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Recursos Energéticos**

Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético. Brasília, 2018. Disponível em: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/ND%20-%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADdos.pdf. Acesso em: 19 may. 2024.

ERAS-ALMEIDA, A. A.; EGIDO-AGUILERA, M. A. What Is Still Necessary for Supporting the SDG7 in the Most Vulnerable Contexts? **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 17, 7184, Sept. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/17/7184>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ERLINGHAGEN, S.; MARKARD, J. Smart grids and the transformation of the electricity sector: ICT firms as potential catalysts for sectoral change. **Energy Policy**, [s. l.], v. 51, p. 895-906, Dec. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421512008208>. Acesso em: 18 fev. 2024.

ESMAILZADEH, M. *et al.* A Functional Analysis of Technological Innovation Systems in Developing Countries: An Evaluation of Iran's Photovoltaic Innovation System. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 5, 2049, Mar. 2020a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/2049>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ESMAILZADEH, M. *et al.* Investigating macro factors affecting the technological innovation system (TIS): A case study of Iran's photovoltaic TIS. **Energy Strategy Reviews**, [s. l.], v. 32, 100577, Nov. 2020b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X20301309>. Acesso em: 30 nov. 2023.

EUSÉBIO, E.; SOUSA, J. A. M.; NEVES, M. V. Impacts of Energy Market Prices Variation in Aggregator's Portfolio. **7th Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems (DoCEIS)**, Apr. 2016, Costa de Caparica, Portugal. p.437-445, 10.1007/978-3-319-31165-4_41. hal-01438271. Disponível em: <https://inria.hal.science/hal-01438271/document>. Acesso em: 18 fev. 2024.

FIUZA, E. L. *et al.* Identificação de fatores associados à geração distribuída que afetam os custos e benefícios de uma empresa de distribuição de energia elétrica. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 6, p. 47761-47779, jun. 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/49630>. Acesso em: 18 fev. 2024.

FLIGSTEIN, N. Markets as Politics: A Political-Cultural Approach to Market Institutions. **American Sociological Review**, [s. l.], v. 61, p. 656-673, Aug. 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2096398>. Acesso em: 18 fev. 2024.

FRANCO, M. A.; GROESSER, S. N. A Systematic Literature Review of the Solar Photovoltaic Value Chain for a Circular Economy. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 17, 9615, Aug. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9615>. Acesso em: 30 nov. 2023.

3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A156264918&crl=c. Acesso em: 07 jul. 2024.

GORDIJN, J.; AKKERMANS, H. Business models for distributed generation in a liberalized market environment. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 77, n. 9, p. 1178-1188, July 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779606001878>. Acesso em: 30 nov. 2023.

GORDIJN, J.; AKKERMANS, H. Designing and evaluating e-business models. **IEEE Intell. Syst.** [s. l.], v. 16, n. 4, p. 11-17, July/Aug. 2001. DOI: 10.1109/5254.941353. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/941353>. Acesso em: 30 nov. 2023.

GORDIJN, J.; AKKERMANS, J. M. Value-based requirements engineering: exploring innovative e-commerce ideas. **Requirements Eng**, [s. l.], v. 8, p. 114-134, 2003. DOI: 10.1007/s00766-003-0169-x.

HACKING, N.; PEARSON, P.; EAMES, M. Mapping innovation and diffusion of hydrogen fuel cell technologies: Evidence from the UK's hydrogen fuel cell technological innovation system, 1954-2012. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 44, n. 57, p. 29805-29848, Nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919335372>. Acesso em: 18 fev. 2024.

HANSEN, U. E. *et al.* Technological shape and size: A disaggregated perspective on sectoral innovation systems in renewable electrification pathways. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 42, p. 13-22, Aug. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629618301816>. Acesso em: 18 fev. 2024.

HEKKERT, M. P. *et al.* Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 74, n. 4, p. 413-432, May 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162506000564>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 584-594, May 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162508000905>. Acesso em: 18 fev. 2024.

HIPP, A.; BINZ, C. Firm survival in complex value chains and global innovation systems: Evidence from solar photovoltaics. **Research Policy**, v. 49, n. 1, p. 103876, fev. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733319301957>. Acesso

em: 04 ago. 2024.

HIRT, L. F.; SAHAKIAN, M.; TRUTNEVYTE, E. What subnational imaginaries for solar PV? The case of the Swiss energy transition. **Technology in Society**, [s. l.], v. 71, 102068, Nov. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X22002093>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HOPPE, T.; BUTENKO, A.; HELDEWEG, M. Innovation in the European Energy Sector and Regulatory Responses to It: Guest Editorial Note. **Sustainability**, [s. l.], v. 10, n. 2, 416, Feb. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/2/416>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HUENTELER, J. *et al.* Technology life-cycles in the energy sector — Technological characteristics and the role of deployment for innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 104, p. 102-121, Mar. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004016251500284X>. Acesso em: 18 fev. 2024.

HARRISON, C. *et al.* Foundations for Smarter Cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, n. 4, p. 1–16, jul. 2010. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5512826>. Acesso em: 07 jul. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewable power's growth is being turbocharged as countries seek to strengthen energy security**. 2022b. Disponível em: <https://www.iea.org/news/renewable-power-s-growth-is-being-turbocharged-as-countries-seek-to-strengthen-energy-security>. Acesso em: 28 out. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewables 2022**. Analysis and forecast to 2027. 2022a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>. Acesso em: 20 ago. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Balances**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>. Acesso em: 28 out. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook**. 2018. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/77ecf96c-5f4b-4d0d-9d93-d81b938217cb/World_Energy_Outlook_2018.pdf. Acesso em: 2 nov. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Energy Crisis**. 2023a. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>. Acesso em: 28 out. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Balances**. 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>. Acesso em: 28 out. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Future of Solar Photovoltaic: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-Economic Aspects (A Global Energy Transformation: Paper); **International Renewable Energy Agency**: Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2019. Disponível em: <https://www.apren.pt/contents/publicationsothers/irena-oil-companies-energy-transition-2021.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA); INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Perspectives for the Energy Transition**. Investment Needs for a Low-Carbon Energy System. [S. l.]: OECD/IEA and IRENA, 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Perspectives-for-the-energy-transition-Investment-needs-for-a-low-carbon-energy-system>. Acesso em: 30 nov. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **End-of-Life Management**. Solar Photovoltaic Panels. Agência Internacional de Energia Renovável. [S. l.]: IRENA, 2016. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf. Acesso em: 21 ago. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Global energy transformation**. A roadmap to 2050. [S. l.]: IRENA, 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf. Acesso em: 21 ago. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Innovation landscape for smart electrification**. Decarbonising end-use sectors with renewable power. [S. l.]: IRENA, 2023. Disponível em: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_Innovation_landscape_for_smart_electrification_2023.pdf?rev=b92a90a778df450ea79ee8527ac1e334. Acesso em: 20 ago. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Transições Energéticas Mundiais**. Panorama 2022. Via do 1,5°C. [S. l.]: IRENA, 2022. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_WETO_Summary_2022_P T.pdf?rev=b1952b7278034d0384e3f543e31f75bb&hash=2496326B281F4CD3E0BAC357C8FA49AF. Acesso em: 21 ago. 2023.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. **Environ. Innov. Soc. Transitions**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 41-57, June 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210422411000177>. Acesso em: 18 fev. 2024.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. **Industrial and Corporate Change**, [s. l.], v. 13, p. 815-849, 2004. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/oupindcch/v_3a13_3ay_3a2004_3ai_3a5_3ap_3a815-849.htm. Acesso em: 18 fev. 2024.

JACOBSSON, S.; JOHNSON, A. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. **Energy Policy**, [s. l.], v. 28, n. 9, p. 625-640, July 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421500000410>. Acesso em: 18 fev. 2024.

JACOBSSON, S.; SANDÉN, B.; BÅNGENS, L. Transforming the Energy System — the Evolution of the German Technological System for Solar Cells. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 3-30, 2004. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0953732032000199061>. Acesso em: 18 fev. 2024.

JAXA-ROZEN, M.; TRUTNEVYTE, E. Sources of uncertainty in long-term global scenarios of solar photovoltaic technology. **Nature climate change**, [s. l.], v. 11, p. 266-273, Mar. 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-021-00998-8>. Acesso em: 30 nov. 2023.

JOHNSON, A. **Functions in Innovation System Approaches**. Electronic paper at the Nelson and Winter Conference, Aalborg, 2001.

JOHNSON, A.; JACOBSSON, S. Inducement and blocking mechanisms in the development of a new industry: the case of renewable energy technology in Sweden. In: COOMBS, R. *et al.* (ed.). **Technology and the Market**. Demand, Users and Innovation. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2001. p. 89-111.

KAINIEMI, L.; ELONEVA, S.; LEVÄNEN, J. Transition towards a decentralised energy system: analysing prospects for innovation facilitation and regime destabilisation in Finland. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 1003-1015, Feb. 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537325.2019.1582765>. Acesso em: 18 fev. 2024.

KAMMEN, D. M.; SUNTER, D. A. City-integrated renewable energy for urban sustainability. **Science**, [s. l.], v. 352, p. 922-928, May 2016. DOI: 10.1126/science.aad9302. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aad9302>. Acesso em: 30 nov. 2023.

KARA, G. *et al.* Stochastic local flexibility market design, bidding, and dispatch for distribution grid operations. **Energy**, v. 253, p. 123989, ago. 2022. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v253y2022ics0360544222008921.html>. Acesso em: 07 jul. 2024.

KARTAL, G. The Effects of Positive and Negative Shocks in Energy Security on Economic Growth: Evidence from Asymmetric Causality Analysis for Turkey. **Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research**. Nigde, Turkey. v. 56, p. 223–240, Mar.2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359462345_The_Effects_of_Positive_and_Negative_Shocks_in_Energy_Security_on_Economic_Growth_Evidence_from_Asymmetric_Causality_Analysis_for_Turkey. Acesso em: 07 jul. 2024.

KEAY, M.; RHYS, J.; ROBINSON, D. Electricity Markets and Pricing for the Distributed Generation Era. *In*: SIOSHANSI, F. P. (ed.). **Distributed Generation and Its Implications for the Utility Industry**. Oxford, UK: Elsevier, 2014. p. 165-187.

KIEFER, C. P.; CALDÉS, N.; DEL RÍO, P. Will dispatchability be a main driver to the European Union cooperation mechanisms for concentrated solar power? **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 42-54, Mar. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567249.2021.1885526>. Acesso em: 18 fev. 2024.

KIEFER, C. P.; DEL RÍO, P. Analysing the barriers and drivers to concentrating solar power in the European Union. Policy implications. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 251, 119400, 2020. Disponível em: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2021/Analysing_the_barriers_and_drivers_to_concentrating_solar_power_in_the_European_Union.pdf. Acesso em: 18 fev. 2024.

KIEFT, A.; HARMSSEN, R.; HEKKERT, M. P. Heat pumps in the existing Dutch housing stock: An assessment of its Technological Innovation System. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s. l.], v. 44, 101064, Apr. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821000746>. Acesso em: 18 fev. 2024.

KIHLSTRÖM, V.; ELBE, J. Constructing Markets for Solar Energy—A Review of Literature about Market Barriers and Government Responses. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 6, 3273, Mar. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3273>. Acesso em: 30 nov. 2023.

KRIECHBAUM, M.; BRENT, A. C.; POSCH, A. Interaction patterns of systemic problems in distributed energy technology diffusion: a case study of photovoltaics in the Western Cape province of South Africa. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], v. 30, n. 12, p. 1422-1436, May 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537325.2018.1473851>. Acesso em: 30 nov. 2023.

KUBLI, M.; CANZI, P. Business strategies for flexibility aggregators to steer clear of being “too small to bid”. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v.

143, 110908, June 2021. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212100201X>. Acesso em:
 18 fev. 2024.

KUBLI, M.; LOOCK, M.; WÜSTENHAGEN, R. The flexible prosumer: Measuring the willingness to co-create distributed flexibility. **Energy Policy**, [s. l.], v. 114, p. 540-548, Mar. 2018. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421517308704>. Acesso em: 30 nov. 2023.

LAMMERS, I.; DIESTELMEIER, L. Experimenting with Law and Governance for Decentralized Electricity Systems: Adjusting Regulation to Reality? **Sustainability**, [s. l.], v. 9, n. 2, 212, Feb. 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/2/212>. Acesso em: 18 fev. 2024.

LIEBERMAN, M. B.; MONTGOMERY, D. B. First-Mover Advantages. **Strategic Management Journal**, [s. l.], v. 9, n. S1, p. 41-58, 1988. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smj.4250090706>. Acesso em: 18 fev. 2024.

LILLIESTAM, J. *et al.* The near- to mid-term outlook for concentrating solar power: mostly cloudy, chance of sun. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 23-41, Jan. 2021. Disponível em:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567249.2020.1773580>. Acesso em: 30 nov. 2023.

LIU, Y.; Yang, K. Communication, sensing, computing and energy harvesting in smart cities. **IET Smart Cities**, v. 4, n. 4, p. 265–274, dez. 2022. Disponível em:
<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/smc2.12041>. Acesso em 07 jul. 2024.

MAHMOUDI, S. *et al.* End-of-life photovoltaic modules: A systematic quantitative literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 1–16, jul. 2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919301247>. Acesso em 04 ago. 2024.

MANNI, M. *et al.* Ten questions concerning planning and design strategies for solar neighborhoods. **Building and Environment**, v. 246, p. 110946, dez. 2023.

MARKARD, J. The life cycle of technological innovation systems. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 153, 119407, Apr. 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517315056>. Acesso em: 18 fev. 2024.

MARKARD, J.; HEKKERT, M.; JACOBSSON, S. The technological innovation systems framework: Response to six criticisms. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 16, p. 76-86, Sept. 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210422415300095>. Acesso em: 18 fev. 2024.

MARKARD, J.; RAVEN, R.; TRUFFER, B. Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects. **Research Policy**, [s. l.], v. 41, n. 6, p. 955-967, July 2012. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004873331200056X>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MARKARD, J.; TRUFFER, B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. **Research Policy**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 596-615, May 2008. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733308000164>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MARQUES, R. Entendendo a Tarifação do Fio B previsto na Lei 14.300. **Canal Solar**, [s. l.], 18/01/2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/tarifacao-do-fio-b-previsto-na-lei-14-300/>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MARTINS, V. A.; BRANCO, D. A. C.; HALLACK, M. C. M. Economic Effects of Micro- and Mini-Distributed Photovoltaic Generation for the Brazilian Distribution System.

Energies, [s. l.], v. 15, n. 3, 737, Jan. 2022. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/737>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MATSUO, T. Fostering grid-connected solar energy in emerging markets: The role of learning spillovers. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 57, 101227, Nov. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629618305954>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MENDES, L. F. R.; STHEL, M. S.; LIMA, M. A. O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 22, n. 3, p. 626-647, set./dez. 2020. Disponível em:

<https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/15482>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MIGNON, I.; BERGEK, A. System- and actor-level challenges for diffusion of renewable electricity technologies: an international comparison. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 128, p. 105-115, Aug. 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012706>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MIYASAWA, A.; Fujimoto, Y.; Hayashi, Y. Energy disaggregation based on smart metering data via semi-binary nonnegative matrix factorization. **Energy and Buildings**, v. 183, p. 547–558, jan. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818302226>. Acesso em: 07 jul. 2024.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOWERY, D. C.; NELSON, R.; MARTIN, B. Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). **Res. Policy**, [s. l.], v. 39, n. 8, p. 1011-1023, 2010. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeerespol/v_3a39_3ay_3a2010_3ai_3a8_3ap_3a1011-1023.htm. Acesso em: 18 fev. 2024.

NASCIMENTO, D. E. do; FURTADO, A. T.; BONACELLI, M. B. M. Mapping the Functional Standard of the Technological Innovation System of Small Hydro Power Plants (SHP) in Brazil. *In*: **1 Latin American Meeting Hydro Power & Systems**. Itajubá: Acta Editora, 2013. v. 1. p. 1-21.

NEGRO, S. O.; ALKEMADE, F.; HEKKERT, M. P. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 3836-3846, Aug. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112002262>. Acesso em: 18 fev. 2024.

NEGRO, S. O.; HEKKERT, M. P. Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in Germany. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 465-482, June 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537320802141437>. Acesso em: 18 fev. 2024.

NEGRO, S. O.; HEKKERT, M. P.; SMITS, R. E. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion—A functional analysis. **Energy Policy**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 925-938, Feb. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421506000723?via%3Di> hub. Acesso em: 18 fev. 2024.

NEVZOROVA, T.; KARAKAYA, E. Explaining the drivers of technological innovation systems: The case of biogas technologies in mature markets. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 259, 120819, June 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620308660>. Acesso em: 04 ago. 2024.

NOLAN, C. *et al.* Past and future global transformation of terrestrial ecosystems under climate change. **Science**, [s. l.], v. 361, p. 920-923, Aug. 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aan5360>. Acesso em: 30 nov. 2023.

NOURI, A. *et al.* Identification of Gaps and Barriers in Regulations, Standards, and Network Codes to Energy Citizen Participation in the Energy Transition. **Energies**, [s. l.], v. 15, n. 3, 856, Jan. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/856>. Acesso em: 30 nov. 2023.

NUORTIMO, K.; HÄRKÖNEN, J.; KARVONEN, E. Exploring the global media image of solar power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 81, p. 2806-2811, Jan. 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117310298>. Acesso em: 18 fev. 2024.

OLIVEIRA, L. G. S. de; NEGRO, S. O. Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 107, p. 462-481, June 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119301236>. Acesso em: 18 fev. 2024.

ONDRACZEK, J.; KOMENDANTOVA, N.; PATT, A. WACC the dog: The effect of financing costs on the levelized cost of solar PV power. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 75, p. 888-898, Mar. 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148114006806>. Acesso em: 30 nov. 2023.

PERGER, T. *et al.* PV sharing in local communities: Peer-to-peer trading under consideration of the prosumers' willingness-to-pay. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 66, 102634, Mar. 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720308519>. Acesso em: 30 nov. 2023.

PICCIARIELLO, A. *et al.* Distributed generation and distribution pricing: Why do we need new tariff design methodologies? **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 119, p. 370-376, Feb. 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779614003927>. Acesso em: 18 fev. 2024.

PORTER, M. E. Clusters and Competition. New agendas for companies, governments and institutions. *In*: Porter, M. E. (ed.). **On Competition**. Boston, MA: Harvard Business Press, 2008.

PORTER, M. E. **Competitive Advantage**. New York: The Free Press, 1985.

POUDINEH, R.; JAMASB, T. Distributed generation, storage, demand response and energy efficiency as alternatives to grid capacity enhancement. **Energy Policy**, [s. l.], v. 67, p. 222-231, Apr. 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513012032>. Acesso em: 18 fev. 2024.

PRAETORIUS, B. *et al.* Technological innovation systems for microgeneration in the UK and Germany - a functional analysis. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 745-764, Aug. 2010. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537325.2010.497256>. Acesso em: 18 fev. 2024.

RAO, H. Institutional activism in the early American automobile industry. **Journal of Business Venturing**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 359-384, May 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883902603000363>. Acesso em: 18 fev. 2024.

RAVEN, R. P. J. M. **Strategic niche management for biomass**: a comparative study on the experimental introduction of bioenergy technologies in the Netherlands and Denmark. 2005. Tese (Doctor of Philosophy) – Industrial Engineering and Innovation Sciences, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2005. Disponível em: <https://research.tue.nl/en/publications/strategic-niche-management-for-biomass-a-comparative-study-on-the-2>. Acesso em: 18 fev. 2024.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (REN21). **Renewables 2023 Global Status Report collection**. Renewables in Energy Supply. [S. l.: s. n.], [2023]. Disponível em: https://www.ren21.net/gsr-2023/modules/energy_supply/01_energy_supply. Acesso em: 28 out. 2023.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. 5. ed. New York: Free Press, 2003.

ROHANKAR, N. *et al.* A study of existing solar power policy framework in India for viability of the solar projects perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 56, p. 510-518, Apr. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115013295>. Acesso em: 18 fev. 2024.

ROOT, L.; PEREZ, R. Photovoltaic Covered Parking Lots: A Survey of Deployable Space in the Hudson River Valley, New York City, and Long Island, New York; **Atmospheric Sciences Research Center**: Albany, NY, USA, 2006. Disponível em: <http://asrc.albany.edu/people/faculty/perez/publications/Other%20Papers%20and%20Applications/parkings.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

ROTH, Lucas *et al.* Does (Co-)ownership in renewables matter for an electricity consumer's demand flexibility? Empirical evidence from Germany. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 46, p. 169-182, Dec. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629618300240>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SANTOS, A. Q. O. *et al.* Electricity Market in Brazil: A Critical Review on the Ongoing Reform. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 10, 2873, May 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/10/2873>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SANTOS, J. *et al.* City of Things: Enabling Resource Provisioning in Smart Cities. **IEEE Communications Magazine**, v. 56, n. 7, p. 177–183, jul. 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8419200>. Acesso em: 07 jul. 2024.

SANTOS, L. L. C.; BERNARDON, D. P.; ABAIDE, A. R. Impact of new policies of microgeneration and electricity tariff for residential consumers in LV network. *In*:

Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2013.

Anais [...]. São Paulo: IEEE, 2013. Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6554369/>. Acesso em: 2 jul. 2023

SCHAUBE, P.; ISE, A.; CLEMENTI, L. Distributed photovoltaic generation in Argentina: An analysis based on the technical innovation system framework.

Technology in Society, [s. l.], v. 68, 101839, Feb. 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X21003146>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SCHMIDT, T. S. Low-carbon investment risks and de-risking. **Nature Clim Change**, [s. l.], v. 4, p. 237-239, Apr. 2014. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/nclimate2112>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SCHOT, J.; STEINMUELLER, W. E. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. **Research Policy**, [s. l.], v. 47, n. 9, p. 1554-1567, Nov. 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733318301987>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SHEN, H. *et al.* Carbon-Free Energy and Sustainable Environment: The Role of Human Capital and Technological Revolutions in Attaining SDGs. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 5, 2636, Mar. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2636>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SHIDORE, S.; BUSBY, J. W. What explains India's embrace of solar? State-led energy transition in a developmental polity. **Energy Policy**, [s. l.], v. 129, p. 1179-1189, June 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421519301156>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SIANO, P. Demand response and smart grids—A survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 30, p. 461-478, Feb. 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113007211?via%3Dihub>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SILVA, G. D. P. da *et al.* Environmental licensing and energy policy regulating utility-scale solar photovoltaic installations in Brazil: status and future perspectives. **Impact Assessment and Project Appraisal**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 503-515, Apr. 2019.

Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14615517.2019.1595933>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SILVA, J. R. de S.; ASSIS, S. M. B. de. Grupo focal e análise de conteúdo como estratégia metodológica clínica-qualitativa em pesquisas nos distúrbios do desenvolvimento. **Cadernos de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 146-152, 2010. Disponível em:

<https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgdd/article/view/11203/6930>.

Acesso em: 18 fev. 2024.

SILVA, M. P. da; JANNUZZI, G. de M. Technology transfer and technological capability: the regulator's role in the adoption of solar photovoltaics in Brazil. **International Journal of Technological Learning, Innovation and Development**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 119-139, Apr. 2019. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJTLID.2019.099241>. Acesso em: 18 fev. 2024.

STEFFEN, B. *et al.* Opening new markets for clean energy: The role of project developers in the global diffusion of renewable energy technologies. **Business and Politics**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 553-587, Dec. 2018. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/business-and-politics/article/opening-new-markets-for-clean-energy-the-role-of-project-developers-in-the-global-diffusion-of-renewable-energy-technologies/D471A68ECA2F5A6B8812457D68848AE>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SUURS, R. A. A.; HEKKERT, M. P. Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 76, n. 8, p. 1003-1020, Oct. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162509000365>. Acesso em: 18 fev. 2024.

TAN, Z. **Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control**. Singapore: Springer, 2014.

TAPSCOTT, D.; TICOLL, D.; LOWY, A. **Digital Capital**. Harnessing the Power of Business Webs. Boston, MA: Harvard Business Review Press, 2000.

TEIXEIRA, F. N. *et al.* Aspectos gerais da geração distribuída. In: LORA, E. E. S.; HADDAD, J. (coord.). **Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 1-27.
TU, W. Data-Driven QoS and QoE Management in Smart Cities: A Tutorial Study. **IEEE Communications Magazine**, v. 56, n. 12, p. 126-133, dez. 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8469804>. Acesso em: 07 jul. 2024.

UN-Habitat. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization; **United Nations Human Settlements Programme**: Nairobi, Kenya, 2020. Disponível em: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2020-the-value-of-sustainable-urbanization>. Acesso em: 07 jul. 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **UN Climate Change Annual Report**. 2018. [S. l.]: UNFCCC, 2018. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UN-Climate-Change-Annual-Report-2018.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2023.

VAN DER HEIJDEN, K. **Scenarios: The Art of Strategic Conversation**. New York:

John Wiley & Sons, 1996.

VAN DER LOOS, A. *et al.* The co-evolution of innovation systems and context: Offshore wind in Norway and the Netherlands. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 138, 110513, Mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120307991>. Acesso em: 30 nov. 2023.

VAZQUEZ, M.; HALLACK, M. The role of regulatory learning in energy transition: The case of solar PV in Brazil. **Energy Policy**, [s. l.], v. 114, p. 465-481, Mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421517308121>. Acesso em: 18 fev. 2024.

WAISSBEIN, O. *et al.* **Derisking Renewable Energy Investment**. A Framework to Support Policymakers in Selecting Public Instruments to Promote Renewable Energy Investment in Developing Countries. New York: United Nations Development Programme (UNDP), 2013. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/22090458>. Acesso em: 30 nov. 2023.

WIECZOREK, A. J.; HEKKERT, M. P. Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. **Science and Public Policy**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 74-87, Feb. 2012. Disponível em: <https://academic.oup.com/spp/article-abstract/39/1/74/1631968>. Acesso em: 18 fev. 2024.

WIND EUROPE. **Wind energy in Europe: 2022 Statistics and the outlook for 2023-2027**. 2023. Disponível em: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027>. Acesso em: 28 out. 2023.

WITTMAYER, J. M. *et al.* Beyond instrumentalism: Broadening the understanding of social innovation in socio-technical energy systems. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 70, 101689, Dec. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620302644>. Acesso em: 18 fev. 2024.

WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *In*: **EASE '14: Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**. [S. l.], article n. 18, p. 1-10, May 2014. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2601248.2601268>. Acesso em: 18 fev. 2024.

WOODHOUSE, M. *et al.* **Supply-chain dynamics of tellurium, indium and gallium within the context of PV module manufacturing costs**. 2012 IEEE 38th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) PART 2. **Anais...** Em: 2012 IEEE 38TH PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC) PART 2. Austin, TX, USA: IEEE, jun. 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6656796/>>.

Acesso em: 4 ago. 2024

XIE, X.; HE, M. Smart City Facility Location Recommendation Algorithm Using Multimedia Data and Improved Generative Adversarial Networks. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 2023, p. 1–13, 15 jul. 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2023/6664219>. Acesso em: 07 jul. 2024.

YOON, J.; JOUNG, S. Environmental self-identity and purchasing ecofriendly products. **Journal of Logistics, Informatics and Service Science**. [s. l.], v.8, p.82–99. 2021. Disponível em: <https://www.aasmr.org/liss/Vol.8/vol.8.1.6.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2024.

ZIMMERMAN, M. A.; ZEITZ, G. J. F. Beyond Survival: Achieving New Venture Growth by Building Legitimacy. **Academy of Management Review**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 414-431, July 2002. Disponível em: <https://journals.aom.org/doi/abs/10.5465/AMR.2002.7389921>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ZOBEL, A.-K.; BALSMEIER, B.; CHESBROUGH, H. Does patenting help or hinder open innovation? Evidence from new entrants in the solar industry. **Industrial and Corporate Change**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 307-331, Mar. 2016. Disponível em: <https://academic.oup.com/icc/article-abstract/25/2/307/2357471?login=false>. Acesso em: 18 fev. 2024.