

IMPACTOS DA COOPERAÇÃO GOVERNO-UNIVERSIDADE-INDÚSTRIA NA INOVAÇÃO NO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO

Amanda Mendes Ferreira Gomes – amandamendesfg@gmail.com

Marinna Pereira Pivatto

Marília Braga

Lucas Rafael do Nascimento

Ricardo Rütther

Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório Fotovoltaica/UFSC

Resumo. *O crescimento das energias renováveis está atrelado à pesquisa científica e, algumas vezes, ao investimento de empresas privadas no desenvolvimento tecnológico inovador e social. O processo de inovação ocorre de forma coletiva e é dependente de vários atores envolvendo um conjunto de estruturas institucionais que podem apoiar e melhorar este processo. Este artigo tem como objetivo fazer uma pesquisa bibliográfica de cooperação entre governo-universidade-indústria, com um olhar especial para a energia solar fotovoltaica. Foram analisados 13 artigos de Review e Research publicados na Science Direct entre 2019 e 2023. Foi possível observar o grande impacto das políticas públicas nas relações e no desenvolvimento e prospecção de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Países que investem em uma cooperação fluida tendem a ter mais sucesso em seus projetos P&D e patentes. Além disso, este artigo apresenta um exemplo de estudo de caso entre a parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a empresa Huawei do Brasil Telecomunicações LTDA, que foi facilitado pelo incentivo público da Lei da Informática, exemplificando a cooperação entre os três pilares do triplice hélice. Esse projeto destaca os desafios e oportunidades no desenvolvimento de tecnologias fotovoltaicas com ênfase em inteligências artificiais para auxiliar no desenvolvimento da tecnologia e na análise de falhas de uma usina solar fotovoltaica.*

Palavras-chave: *Governo-universidade-indústria, energias renováveis, energia solar fotovoltaica.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, muito se discute sobre os impactos produzidos pelo ser humano sobre o meio ambiente. São investigadas e testadas incessantemente novas formas de produção de produtos, energia e transportes pela indústria, governo e pesquisadores. Diante dessa necessidade, as principais potências globais frequentemente se unem para debater e aprovar medidas que visam conter o aquecimento global e promover o uso de fontes de energia limpa e renovável. Em 2015, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 21) em Paris, França, resultando na assinatura de um acordo climático por 195 países. Esse acordo tem como objetivo primordial a cooperação internacional para limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C, bem como estabilizar a concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera em um nível seguro. Isso garante que não haja impactos prejudiciais na segurança alimentar e social, ao mesmo tempo em que permite a adaptação natural dos ecossistemas, no âmbito de um modelo de desenvolvimento sustentável (Rovere *et al.*, 2016). As energias renováveis podem ser uma grande aliada na transição energética. Os sistemas fotovoltaicos (FV) em solo ou integrados em edificações e interligados à rede elétrica pública trazem diversos benefícios para a sociedade, diante da sua redução de custos e do impacto ambiental, ainda podem atuar como elemento arquitetônico na cobertura de telhados, paredes, fachadas ou janela (Rütther, 2004). No Brasil, em 2023, a energia FV alcançou uma posição de destaque na matriz energética, tornando-se a segunda maior fonte de energia, com uma participação de 14,3% do total, ficando apenas atrás da energia hidrelétrica. Dentre os sistemas solares fotovoltaicos, a geração distribuída corresponde a uma expressiva parcela, contribuindo com 69% da capacidade total instalada (ANEEL, 2023a). Para além disso, cerca de 2,5 milhões de unidades consumidoras (UC) estão desfrutando dos benefícios energéticos proporcionados pelos 1,9 milhões de sistemas FV conectados à rede nacional (ABSOLAR, 2022).

O notável crescimento das energias renováveis, com ênfase na energia FV, está atrelado à pesquisa científica, regulamentação e ao investimento de empresas privadas no desenvolvimento tecnológico inovador e social ligado a isto. O processo de inovação ocorre de forma coletiva e é dependente de vários atores envolvendo um conjunto de estruturas institucionais que podem apoiar e melhorar este processo (Caraça; Lundvall; Mendonça, 2009). Diante disso, os habitats de inovação podem ajudar a suprir as demandas e fortalecer a inovação e o empreendedorismo. Habitats de inovação são estruturas de suporte que podem englobar vários modelos, tais como Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs), incubadoras, aceleradoras, *coworking*, escritórios de propriedade intelectual, laboratórios, centros de pesquisas e os parques tecnológicos (Depiné; Teixeira, 2018). Os centros de pesquisa e parques tecnológicos auxiliam a impulsionar a pesquisa acadêmica e estão presentes na cooperação governo-universidade-indústria. No Brasil, é bastante comum que os centros de pesquisa estejam localizados dentro das universidades (Abreu *et al.*, 2016).

Os principais atores relacionados a este tópico são as universidades, governo e sociedade civil, geralmente formado por empresas privadas. Estes atores são chamados de forma coletiva de tríplex hélice. Normalmente, as universidades são geradoras de conhecimento, as empresas são responsáveis pela produção de bens e serviços, e o governo atua como regulador e fomentador da atividade econômica. Estes papéis podem mudar de acordo com a necessidade, visto que as interações entre as hélices são dinâmicas. Dentro das universidades, podem surgir novas empresas, como, por exemplo, as empresas juniores, já as empresas podem ter setor de treinamento e o governo pode estimular um setor injetando dinheiro por meio de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (Etzkowitz; Leydesdorff, 1995). Villarreal e Calvo (2015) mostram que a aplicação do Modelo Triple Helix e dos modelos de inovação aberta são uma boa estratégia de P&D e devem ser estimuladas pelo governo para a transferência de conhecimento e inovação produzidos dentro da universidade. A sinergia entre os centros de pesquisa e a sociedade civil é ampliada, abrindo caminhos para projetos futuros, além das atividades realizadas dentro do projeto (Villarreal; Calvo, 2015).

Os projetos de P&D podem ser realizados somente entre universidade e sociedade civil, ou incluindo os três atores. O Programa de P&D ANELL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é um exemplo de projeto de inovação que inclui os três atores, que tem por objetivo a promoção da pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) no Brasil, considerando toda sua cadeia. O programa procura estimular a cooperação entre empresas e universidades e/ou centros de pesquisa em torno de iniciativas que possuam a escala adequada para concretizar conhecimento e traduzir ideias promissoras, experimentos laboratoriais e a qualidade de modelos teóricos em resultados práticos tangíveis. Este enfoque se baseia em diretrizes específicas de PD&I e na identificação de oportunidades e lacunas tecnológicas. O programa visa estimular uma cultura proativa de inovação, incentivando, por meio de pesquisas, melhorias substanciais no setor elétrico brasileiro. O objetivo central consiste na criação de equipamentos e na otimização dos serviços prestados, de modo a contribuir para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a moderação das tarifas, a redução do impacto ambiental associado ao setor, e a minimização da dependência tecnológica do país. Este esforço coletivo e sistemático visa a consolidação de avanços que transcendem os limites organizacionais, promovendo benefícios abrangentes para a sociedade e o setor elétrico nacional como um todo (ANEEL, 2023b).

Com objetivo de incentivar ainda mais o desenvolvimento tecnológico, a "Lei da Informática" oferece incentivos fiscais e benefícios para a indústria de tecnologia da informação e eletrônica no Brasil. Criada em 1991, ela tem como objetivo promover o desenvolvimento do setor de hardware e software, estimulando a pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica, além de fomentar a produção local de bens de informática e automação. A Lei da Informática já passou por diversas formas e revisões (Brasil, 1991) e seus efeitos na indústria são perceptíveis (Moraes, 2021). A legislação atual inclui a redução de impostos para empresas que atendem a requisitos específicos de produção e investimento em P&D, bem como a preferência na aquisição de produtos de tecnologia da informação e comunicação pelo governo brasileiro, visando a aumentar a competitividade do país no setor e promover o crescimento econômico e a criação de empregos, tanto a nível nacional quanto a regionais e distrital (Almeida; Pereira, 2019; Brasil, 1991).

Diante do exposto, observa-se um crescente interesse no desenvolvimento do setor de energia solar FV, impulsionado pela necessidade de avanços tecnológicos e inovações no setor. Este artigo tem como objetivo realizar uma pesquisa bibliográfica abrangente da literatura sobre a colaboração entre governo, universidade e indústria, com um foco especial na área de energias renováveis. Além disso, buscará exemplificar como esse modelo de colaboração foi efetivamente aplicado em um projeto de P&D específico conduzido em conjunto pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por meio do Laboratório Fotovoltaica/UFSC (<https://fotovoltaica.ufsc.br/>), e a empresa Huawei do Brasil Telecomunicações Ltda. A análise deste caso específico proporcionará *insights* valiosos sobre as oportunidades e desafios inerentes à colaboração entre esses setores e como essa sinergia pode impulsionar avanços significativos no campo da energia solar FV no Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é dividido em duas etapas: i) pesquisa bibliográfica da literatura; ii) exemplificação com modelo real de uma parceria governo-universidade-indústria. A Fig. 1 apresenta um fluxograma com o resumo básico do método.



Figura 1 – Fluxograma básico do método aplicado neste estudo.

O método utilizado neste estudo foi a pesquisa bibliográfica e integrativa. A pesquisa bibliográfica compreende a estudar toda a obra científica publicada sobre um tema específico, por meio de publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisa, monografias, teses, etc. (Lakatos; Marconi, 2010). Por sua vez, os métodos de pesquisa de

revisão integrativa são utilizados com objetivo de sintetizar a literatura empírica ou teórica, para fornecer uma compreensão mais abrangente de um fenômeno particular (Botelho; Cunha; Macedo, 2011). (Whittemore; Knafl, 2005) e (Beyea; Nicoll, 1998) apresentam as seis etapas para a pesquisa de revisão integrativa. (Botelho; Cunha; Macedo, 2011) também apresenta com detalhes quais as especificações de cada etapas, que serão descritas na sequência.

i) A primeira etapa se resume na identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa para a elaboração da revisão integrativa: o tema explorado por este estudo se molda na identificação da sinergia entre governo, universidade e indústria, considerando o foco no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica.

ii) A segunda etapa estabelece os critérios para inclusão e exclusão de artigos científicos na busca realizada. Nesta fase, foi considerada a plataforma *Science Direct*. A *string* utilizada para realizar a busca foi: "*university-industry*" AND "*renewable energy*", filtrada por resumo, títulos e palavras-chave. Nesta pesquisa, foram considerados somente os artigos de *Review* e *Research* publicados entre 2019 e 2023. Como o objetivo desta pesquisa é realizar uma análise dos investimentos e sinergia entre as partes, foi escolhido um período curto e próximo para analisar como este tema vem sendo tratado atualmente. O total de artigos encontrados com esta *string* foi de 113 artigos.

iii) A terceira etapa é pautada pela definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/ categorização dos estudos. Para uma melhor análise dos artigos, foram filtrados os artigos não tem em seu desenvolvimento temas relacionados com energias renováveis, com ênfase em energia solar fotovoltaica. Os artigos que não apresentam discussões sobre a cooperação indústria-universidade também foram excluídos da base de dados. Os filtros foram feitos analisando os abstracts dos artigos, e em caso, de inconclusão, a leitura completa do artigo é necessária.

iv) A quarta etapa se dá pela avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa. Neste estudo, a avaliação foi feita de forma manual, considerando uma matriz de síntese, capaz de extrair e organizar os dados apresentados nos artigos selecionados.

v) A quinta etapa se apresenta por meio da interpretação dos resultados apresentados nos artigos selecionados na quarta etapa. Dessa forma, é possível analisar as abordagens dadas para o assunto via diferentes autores e as soluções propostas para problemas apresentados.

vi) A sexta etapa é a apresentação da síntese do conhecimento adquirido ao analisar de forma aprofundada os artigos selecionados.

vii) A sétima fase estabeleceu uma conexão entre as conclusões dos artigos selecionados e um estudo de caso envolvendo o projeto de extensão colaborativo entre a Huawei e a UFSC, no âmbito da Lei da Informática, explorando a execução do projeto e seus resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificados e escolhidos 13 artigos a partir de uma pré-seleção inicial de 113 documentos realizada na segunda etapa do processo de seleção. A Tab. 1 exibe de forma abrangente todos os artigos que foram criteriosamente escolhidos para compor a presente pesquisa bibliográfica.

Tabela 1 – Artigos selecionados na pesquisa bibliográfica.

Nome do artigo	Referência
How governments, universities, and companies contribute to renewable energy development? A municipal innovation policy perspective of the triple helix	(Lerman <i>et al.</i> , 2021)
Does the focus of renewable energy policy impact the nature of innovation? Evidence from emerging economies	(Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020)
Public support for innovation: A systematic review of the literature and implications for open innovation	(Jugend <i>et al.</i> , 2020)
Help wanted!: A researcher's guide to utility-university collaborations	(Butts; Wilber; Rose, 2019)
Open and collaborative innovation for the energy transition: An exploratory study	(Dall-Orsoletta; Romero; Ferreira, 2022)
Indicators for sustainable energy development: An Icelandic case study	(Gunnarsdottir <i>et al.</i> , 2022)
Technology development strategies and policy support for the solar energy industry under technological turbulence	(Yun; Lee; Lee, 2019)
The impact of public research on the technological development of industry in the green energy field	(Ardito; Petruzzelli; Ghisetti, 2019)
Assessing differences between university and federal laboratory postdoctoral scientists in technology transfer	(Choi <i>et al.</i> , 2022)
Innovation and entrepreneurship for sustainable development: Lessons from Ethiopia	(Shkabatur; Bar-El; Schwartz, 2022)
Multilevel institutional analyses of firm benefits from R&D collaboration	(Oguguo; Bodas Freitas; Genet, 2020)
The use of collaboration networks in search of eco-innovation: A systematic literature review	(Araújo; Franco, 2021)
Knowledge to money: Assessing the business performance effects of publicly-funded R&D grants	(Vanino; Roper; Becker, 2019)

Tabela 2 – Artigos selecionados na pesquisa bibliográfica.

Tipo de artigo	Referência
<i>Review articles</i>	(Lerman <i>et al.</i> , 2021); (Jugend <i>et al.</i> , 2020); (Dall-Orsoletta; Romero; Ferreira, 2022); (Araújo; Franco, 2021)
<i>Research articles</i>	(Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020); (Butts; Wilber; Rose, 2019); (Gunnarsdottir <i>et al.</i> , 2022); (Yun; Lee; Lee, 2019); (Ardito; Petruzzelli; Ghisetti, 2019); (Shkabatur; Bar-El; Schwartz, 2022); (Oguguo; Bodas Freitas; Genet, 2020); (Vanino; Roper; Becker, 2019)

A Tab. 3 apresenta um resumo dos artigos selecionados na revisão de literatura.

Tabela 3 – Assuntos e objetivos abordados nos artigos selecionados na revisão de literatura.

Referência	Assuntos e objetivos abordados nos artigos
(Lerman <i>et al.</i> , 2021)	O estudo analisou o papel do triplice hélice no desenvolvimento de políticas de inovação em energias renováveis, com foco em cooperação, compartilhamento de conhecimento e desenvolvimento local. A pesquisa com 727 municípios alemães destaca a colaboração entre governo e setor privado como vital em todos os critérios, enquanto as universidades se destacam na geração e transferência de conhecimento.
(Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020)	Analisa o impacto das políticas de inovação em energia renovável em economias emergentes, destacando que políticas <i>pull</i> promovem tecnologias maduras, enquanto políticas <i>push</i> impulsionam inovações em novas tecnologias. Estudos de caso confirmam essa diferenciação. Apresenta uma tipologia de políticas e foco na inovação.
(Jugend <i>et al.</i> , 2020)	O artigo tem como objetivo avaliar as práticas públicas de inovação e sua relação com a Inovação Aberta (IA) através de uma revisão de 121 artigos. Os resultados mostram que o termo "apoio público à inovação" está ganhando destaque na gestão e políticas de inovação.
(Butts; Wilber; Rose, 2019)	Este trabalho visa estudar o ciclo de vida das colaborações entre empresas de eletricidade e acadêmicos, entrevistando os envolvidos e analisando artigos publicados. Ele busca identificar melhores práticas para iniciar e garantir o sucesso dessas colaborações, abordando diversas oportunidades de cooperação.
(Dall-Orsoletta; Romero; Ferreira, 2022)	Este trabalho visava investigar como as empresas do sector eléctrico adaptaram as suas abordagens à inovação em resposta aos apelos à abertura e à participação de novos atores. Combina resultados académico, bem como iniciativas do mundo real para identificar as estratégias das empresas para a inovação.
(Gunnarsdottir <i>et al.</i> , 2022)	Neste estudo, um interveniente iterativo a abordagem ao desenvolvimento de indicadores é implementada na Islândia. A abordagem sublinha a importância do envolvimento das partes interessadas para a seleção de indicadores e que os indicadores têm de ser específicos do contexto.
(Yun; Lee; Lee, 2019)	Este estudo examina estratégias eficazes de desenvolvimento tecnológico - diversificação e colaboração – para empresas de energia solar que enfrentam turbulência tecnológica.
(Ardito; Petruzzelli; Ghisetti, 2019)	Foram considerados três atributos tecnológicos principais: (i) o nível de estabelecimento, (ii) o âmbito de aplicação, e (iii) a amplitude tecnológica. A análise é baseada numa amostra de 4363 patentes de energia verde registadas por PROs no <i>United States Patent and Trademark Office</i> no Período 1976-2011. Os resultados revelaram os atributos estão positivamente relacionados com o desenvolvimento tecnológico de uma indústria.
(Choi <i>et al.</i> , 2022)	Este artigo examina as diferenças entre cientistas de pós-doutoramento universitário e cientistas de pós-doutoramento de laboratório federal, em termos de como eles se envolvem na transferência de tecnologia. Na análise qualitativa baseia-se em extensas entrevistas de cientistas pós-doutorados e os seus supervisores/investigadores principais em duas grandes universidades de investigação e quatro grandes laboratórios federais.
(Shkabatur; Bar-El; Schwartz, 2022)	Este estudo explora como os conceitos de política de inovação podem ser adaptados para responder às necessidades das pessoas de baixos rendimentos países em desenvolvimento e como podem fazer avançar os seus objetivos de desenvolvimento sustentável.
(Oguguo; Bodas Freitas; Genet, 2020)	O artigo analisou 601 empresas europeias e constatou que em países onde a colaboração é incentivada por políticas e práticas de compartilhamento de conhecimento, as empresas experimentam ganhos significativos na inovação e no desenvolvimento de produtos.
(Araújo; Franco, 2021)	Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura, identificando 40 publicações relacionadas àecoinovação colaborativa. Os resultados indicam que a ecoinovação pode impactar positivamente o desempenho organizacional quando realizada em colaboração.
(Vanino; Roper; Becker, 2019)	Este artigo explora os dados disponíveis na base de dados <i>Gateway to Research</i> , investigando o efeito heterogéneo destes projetos em várias direções inovadoras que nunca foram exploradas antes. Foi encontrado um efeito positivo sobre o crescimento do emprego e do volume de negócios das empresas participantes, tanto a curto como a médio prazo.

A Tab. 2 apresenta os artigos identificados nesta pesquisa bibliográfica, classificados segundo sua tipologia em artigos de revisão (*review articles*) e artigos de pesquisa (*research articles*). Os *review articles* apresentam uma revisão da literatura com focos em diferentes etapas, com ênfase para a tríplice hélice. Por outro lado, os *research articles* apresentam pesquisas empíricas, adotando diversas abordagens, que podem incluir a análise do cenário de um país ou região específica, bem como a investigação detalhada de um projeto de pesquisa específico.

3.1. A importância da tríplice-hélice

Um ecossistema de inovação refere-se às complexas relações formadas entre atores ou entidades cujo objetivo funcional é permitir o desenvolvimento tecnológico e inovação. Nesse sentido, os atores também incluem os recursos materiais (por exemplo, fundos, equipamento, instalações) e capital humano (tais como, estudantes, docentes, pessoal, investigadores da indústria, representantes da indústria) que compõe as entidades institucionais participantes no ecossistema (Jackson *et al.*, 2018). O objetivo das universidades e dos institutos de investigação dedicam-se ao ensino básico investigar e fornecer uma fonte de novos conhecimentos e tecnologia; já as indústrias se encarregam de produzir bens comerciais; e os governos regulam os mercados e relações contratuais seguras que garantem interações estáveis e intercâmbio entre todos os componentes do ecossistema (Shkabatur; Bar-El; Schwartz, 2022).

A tríplice hélice foi abordada explicitamente em (Dall-Orsoletta; Romero; Ferreira, 2022; Jugend *et al.*, 2020; Lerman *et al.*, 2021; Shkabatur; Bar-El; Schwartz, 2022) no âmbito da literatura revista. A tríplice hélice apresenta um papel significativo na criação de estabilização do ecossistema de inovação. As interrelações entre os atores devem ser estimuladas utilizando os seguintes mecanismos: Ligações dentro da indústria e entre empresas, ligações interministeriais e ligações entre universidade, pesquisa e TVET-Indústria (Shkabatur; Bar-El; Schwartz, 2022).

Lerman *et al.* (2021) apresentam que, para um nível municipal de desenvolvimento de energias renováveis, a tríplice hélice é um ponto crucial para o sucesso de uma pesquisa com foco em energias renováveis, considerando a complexidade dos estudos da gestão de recursos ambientais, pois envolve problemas complexos que não poderiam ser resolvidos somente por um ator. Para além disso, apresentam que a universidade contribui para a geração e transferência de conhecimento, enquanto o governo e a indústria contribuem para a criação de sistemas cooperativos e desenvolvimento de fatores de localização municipal (Lerman *et al.*, 2021).

3.2. Relevância da discussão no meio acadêmico

Atualmente, o mercado de energia FV está bastante desenvolvido e difundido, com produtos módulos, inversores e soluções acessíveis. Porém, no começo do século XXI, determinadas tecnologias associadas à energia FV, como a evolução e aprimoramento de diversos materiais utilizados nas células FV, encontravam-se em estágios de desenvolvimento. Por isso, existiu uma alta taxa de patentes registradas relacionadas ao setor de energia FV. Houve um crescimento de 26% anuais na taxa de patentes fotovoltaicas entre 2000 e 2012. Seis países possuem o maior desenvolvimento de tecnologias FV: Japão, Estados Unidos da América, China, Alemanha, Coreia e Taiwan (Yun; Lee; Lee, 2019). Diante da disponibilidade de materiais encontrados nas pesquisas realizadas para este estudo e do interesse internacional com o desenvolvimento de energia FV apresentado por (Yun; Lee; Lee, 2019), o tema de estudo aprofundado da cooperação governo-universidade-indústria com ênfase em energia FV é um tema latente, porém ainda pouco explorado. Os autores que acompanham este tema se guiam, em sua maioria, pelo estudo de casos dos sucessos dos projetos específicos e/ou programas de P&D. Apesar de uma *string* de busca bastante abrangente ("*university-industry*" AND "*renewable energy*") os resultados são mínimos quando considerados os artigos que se dedicam a estudar o impacto da tríplice hélice combinado com setor de energia FV.

Ardito; Petruzzelli e Guisetti (2019) discutem os impactos relacionados a pesquisa pública no desenvolvimento de tecnologias campo das energias renováveis. Existem três variáveis identificados para o gerenciamento da tecnologia: (i) o nível de estabelecimento, (ii) o escopo da aplicação e (iii) a amplitude do estudo. Essas três variáveis indicam (i) o quanto um assunto já foi explorado e é conhecido, (ii) o quanto o escopo da pesquisa específica ou abrangente e (iii) a amplitude tecnologia relacionada a extensão da base do conhecimento. Diante das teorias, é mostrado que impulsionar o desenvolvimento de soluções no setor privado por meio de iniciativas públicas melhora o desenvolvimento econômico e ambientais (Ardito; Petruzzelli; Ghisetti, 2019).

Choi *et al.* (2022) mostra a importância do pós-doutorado na transferência de conhecimento adquirido durante dos períodos de projetos de P&D. São apontados também a necessidade de um levantamento para melhor compreender as questões de gestão e organização relevantes para a transferência de tecnologia, especialmente em laboratórios federais (Choi *et al.*, 2022).

3.3. Políticas públicas e mercado

Um dos principais objetivos da pesquisa por meio de entidades públicas é corrigir falhas de mercado enquanto estimula as melhorias ambientais (Balachandra; Kristle Nathan; Reddy, 2010). Os governos tendem a investir cada vez mais para alcançar estes e outros objetivos. Parceiras entre empresas e universidades tem sido cada vez mais comuns, e traz benefícios para ambos os lados, como por exemplo, a possibilidade de criação de startups dentro das universidades que podem vir a ser adquiridas pelas empresas financiadora ou se tornarem grandes empresas no futuro (Dall-Orsoletta;

Romero; Ferreira, 2022). Os Conselhos de Pesquisa do Reino Unido (UKRCs) gastam cerca de £ 3 bilhões para apoiar P&D e inovação e o crescimento de empregos e o volume de negócios relacionados ao desenvolvimento de tecnologias renováveis é perceptível (Vanino; Roper; Becker, 2019).

Gunnarsdottir *et al.* (2022) apresenta um estudo de caso para a Islândia, onde apresenta os indicadores para medir as questões energéticas do país. É mostrado como os investimentos públicos influenciaram positivamente a gestão energética do país.

Observa-se uma expectativa quanto a criação de novas incubadoras vinculadas à medida que as políticas públicas evoluam. A China possui diferentes políticas de inovação (push e pull) que influenciaram diretamente na primeira posição do país quanto ao desenvolvimento de energias renováveis (Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020).

Existem quatro dimensões importantes para a análise dos estudos: (i) apoio financeiro a atividades de P&D; (ii) desenvolvimento através da inovação; (iii) apoio a programas setoriais; e (iv) tripla hélice. Essas quatro dimensões podem ser mais bem trabalhadas pelo ente público, com o objetivo de direcionar os investimentos e esforços para as necessidades corretas. Para expandir o sistema de pesquisa, é preciso estimular o investimento de micro e pequenas empresas. Além disso, os projetos de P&D podem ser vistos como investimentos a longo prazo, onde uma empresa privada cultiva conhecimento e pessoal qualificado para uma futura expansão (Jugend *et al.*, 2020).

3.4. Aplicações da tríplex-hélice sob o caso da Lei da Informática

O modelo de tríplex-hélice é bastante comum em projetos desenvolvidos pelo Laboratório Fotovoltaica/UFSC, sejam P&D ANEEL, a exemplo das chamadas de projetos do P&D Estratégico nº 13/2011 (Arranjos técnicos e comerciais para inserção de projetos de geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira) e do P&D Estratégico nº21/2016 (Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro), além de projetos diretamente com empresas privadas. A motivação por trás do projeto reside na necessidade de soluções inovadoras impulsionadas pelo uso de tecnologias digitais, que transformaram a dinâmica organizacional e a estrutura das empresas, levando a um contínuo desenvolvimento em P&D. A implementação de Inteligência Artificial (IA), o aumento da capacidade de processamento e armazenamento computacional, juntamente com a disponibilidade de vastos conjuntos de dados (*big data*), permitiu que as organizações antecipassem e enfrentassem situações inesperadas. A Huawei, empresa dedicada ao desenvolvimento de tecnologias baseadas em IA para uma variedade de setores, incluindo tecnologia da informação e energia FV, estabeleceu programas destinados a capacitar e certificar profissionais nesses campos. Estes programas abrangem os requisitos para serem contemplados com recursos dos projetos da Lei da Informática. Os programas desenvolvidos nos departamentos de P&D internos das empresas ganham espaço para uma aplicação real quando aplicados a projetos em conjunto com o governo (neste caso, a Lei da Informática) e universidades (Fotovoltaica/UFSC), que possuem métricas capazes de aplicar e testar as soluções propostas.

O projeto executado teve como foco a capacitação e a realização de atividades e experimentos para formar recursos humanos aptos a utilizar tecnologias baseadas em IA. O projeto foi aberto à comunidade acadêmica e a parceiros científicos e tecnológicos, visando disseminar conhecimento e capacitar as pessoas no setor de energia FV. O objetivo do projeto foi capacitar pessoas por meio da equipe da universidade, com foco em professores e alunos de nível superior e médio, e profissionais de mercado. Em concordância com os aspectos apresentados por (Choi *et al.*, 2022) todas as atividades e experimentos foram realizados pela equipe do Laboratório Fotovoltaica/UFSC que possui diversos níveis de escolaridade e tempo aplicado à pesquisa. Os integrantes do Laboratório Fotovoltaica/UFSC são alunos de graduação (iniciação científica), alunos de pós-graduação (mestrado, doutorado e pós-doutorado) e professores e servidores da UFSC.

Os treinamentos realizados consistiram em uma série de atividades ao longo de 2 ou 3 dias. Foi realizada uma aula inaugural abordando atualidades do setor, como novas tecnologias FV, a IA aplicado no setor e hidrogênio verde (H₂). Ao longo do treinamento foram abordados diversos tópicos, incluindo técnicas avançadas de diagnóstico de falhas em módulos FV, através da IA embarcada nos inversores, com uma atividade prática relacionada a eletroluminescência. Uma parte importante do treinamento foi a visita à Usina Solar Cidade Azul, onde os participantes tiveram a oportunidade de avaliar os módulos e conhecer na prática uma usina solar FV de 3 MW. Também foram realizados debates e discussões sobre atividades práticas no ensino de FV, bem como sobre padronização e certificação de profissionais. Outros temas abordados incluíram aplicações de sistemas de armazenamento (BESS - *Battery Energy Storage System*), com uma palestra sobre novidades e tendências no setor, e a análise da curva IxV de módulos bifaciais, com uma atividade prática. Além disso, houve palestras de convidados representando empresas, que compartilharam informações sobre modelos de negócios, geração compartilhada e os desafios no planejamento da implementação de grandes usinas FV.

Os participantes também tiveram a oportunidade de fazer um tour pelo Laboratório Fotovoltaica/UFSC, conhecendo projetos e os equipamentos. O treinamento proporcionou aos participantes uma ampla experiência, combinando conhecimento teórico, atividades práticas, visitas a usinas solares e interação com profissionais do setor, reforçando a integração entre universidade, empresas e governo. Lerman *et al.* (2021) apresenta os impactos causados pela universidade e destaca que sua principal contribuição está na geração e transferência de conhecimento, vindo de encontro aos objetivos deste projeto de extensão. A Fig. 2 apresenta à esquerda uma imagem aérea do Laboratório Fotovoltaico/UFSC e à direita uma representação da Usina Solar Cidade Azul, ambientes empregados para a realização de treinamentos teóricos e práticos.



Figura 2 – Imagens aéreas do Laboratório Fotovoltaica/UFSC e Usina Solar Cidade Azul utilizados para treinamento teórico e prático sobre a tecnologia AFCI embarcada nos inversores com IA.

Conforme abordado por (Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020), as políticas *pull* de demanda promovem inovações em tecnologias maduras, incentivando a exploração de recursos prontamente disponíveis. As IAs fazem parte das novas funcionalidades presentes no mercado atualmente, como é o caso da tecnologia de AFCI (*Arc-Fault Circuit Interrupter*), ilustradas na Fig. 3. Os treinamentos ressaltaram a importância da IA aplicada ao recurso de detecção de arco elétrico para evitar incêndios em instalações de sistemas FV residenciais. Outras tecnologias importantes para as políticas de *pull* são as funções de curva IV (curva corrente x tensão) e anti-PID (*Potential-induced degradation*).

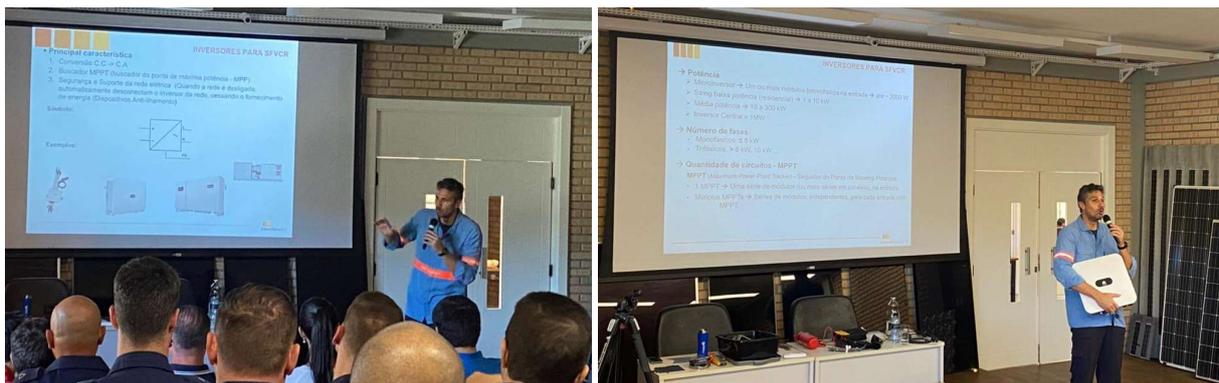


Figura 3 – Treinamento teórico e prático sobre a tecnologia AFCI embarcada nos inversores com IA.

Essas discussões tiveram como propósito principal mapear a relevância da aquisição e instalação de equipamentos que possuem essas funcionalidades de IA embarcadas, pois podem auxiliar na operação e manutenção dos sistemas FV, além de executarem testes de desempenho das tecnologias em condições reais. Este caso de estudo evidencia que a colaboração entre entidades governamentais e industriais é fundamental para impulsionar a inovação em energia FV, ao passo que as instituições acadêmicas direcionam seus esforços para a construção de conhecimento estratégico.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho se dedicou a realizar uma pesquisa bibliográfica dos artigos publicados nos últimos cinco anos sobre a cooperação entre governo-universidade-indústria com ênfase em energia FV para promover a inovação. A cooperação entre estes três agentes é estimulada em diversos países do mundo e é um dos modos mais comuns para incentivar a pesquisa científica. A universidade tem o objetivo de desenvolver e disseminar o conhecimento específico sobre determinado assunto; já o governo tem como prioridade nesse âmbito a promoção de políticas públicas e incentivos para a pesquisa; e as empresas têm o investimento financeiro em desenvolvimento de conhecimento específico.

Foi observado que apesar do conceito de *tríplice hélice* não estar claro em todos os artigos, é considerando este modelo de organização para sanar os problemas provenientes de uma pesquisa abrangente, que inclui várias faces da sociedade. No estudo de caso, fica evidente que a abordagem do *tríplice hélice* foi executada durante a realização do projeto de P&D, impulsionado pelo incentivo governamental da Lei da Informática, que motivou a empresa privada a investir na capacitação e na disseminação do conhecimento sobre novas tecnologias. O estudo de caso ilustrou a aplicação

dos conceitos apresentados e discutidos nos artigos, destacando que a universidade se concentra na geração e compartilhamento de conhecimento especializado, o governo tem como prioridade a promoção de políticas públicas e apoio à pesquisa, enquanto as empresas direcionam recursos financeiros para o desenvolvimento de conhecimento específico. Em resumo, essas entidades desempenham papéis distintos na busca pelo avanço do conhecimento e da inovação.

A pesquisa sobre a cooperação entre governo-universidade-indústria com ênfase em energia FV mostra que existe uma lacuna para medir o potencial de pesquisa exclusivamente do setor FV, visto que a maioria dos artigos se direcionam as energias renováveis como um todo. No Brasil, os projetos de P&D representam uma boa iniciativa para o setor, mas seus resultados precisam ser mais divulgados para a sociedade. A China desponta como uma grande produtora e detentora de conhecimento técnico, pois realiza grandes investimentos nesse setor. Nos demais países, apesar de um alto investimento, também existe essa lacuna.

Os laboratórios das universidades possuem acadêmicos especialistas nos assuntos a serem pesquisados pela indústria, desde iniciação científica até pós-doutorado. Porém, é necessário um maior controle quanto a questões de tempo, pessoas e processos para realizar uma transferência de conhecimento mais efetiva.

Os governos dos países possuem o desafio em investir, estimular e divulgar os impactos das pesquisas realizadas em parceria entre universidades e indústria. Assim, este tipo de investimento pode ser realizado e micro e pequenas empresas podem assumir uma posição mais evidente no processo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Huawei do Brasil Telecomunicações LTDA, que através da Lei da Informática, forneceu suporte técnico e institucional para o desenvolvimento deste estudo. A.M.F.G. e M.B. agradecem o apoio recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) através de suas bolsas de doutorado.

REFERÊNCIAS

- Abreu, I. B. L. de et al. Parques tecnológicos: panorama brasileiro e o desafio de seu financiamento. v. n 5 Absolar. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 1 jul. 2023.
- ALMEIDA, D. M.; PEREIRA, I. M. Representatividade dos incentivos fiscais da Lei de Informática no resultado econômico de indústrias catarinenses. REVISTA AMBIENTE CONTÁBIL - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - ISSN 2176-9036, v. 11, n. 2, p. 152–174, 3 jul. 2019.
- ANEEL. Sistema de Informação de Geração da ANEEL - SIGA. Disponível em: <<https://bit.ly/2IGf4Q0>>. Acesso em: 1 jul. 2023a.
- ANEEL. Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/ped-e-ee>>. Acesso em: 21 jan. 2023b.
- Araújo, R.; Franco, M. The use of collaboration networks in search of eco-innovation: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, v. 314, p. 127975, set. 2021.
- Ardito, L.; Petruzzelli, A. M.; Ghisetti, C. The impact of public research on the technological development of industry in the green energy field. Technological Forecasting and Social Change, v. 144, p. 25–35, jul. 2019.
- Balachandra, P.; Kristle Nathan, H. S.; Reddy, B. S. Commercialization of sustainable energy technologies. Renewable Energy, v. 35, n. 8, p. 1842–1851, ago. 2010.
- Beyea, S. C.; Nicoll, L. H. Writing an integrative review. AORN Journal, v. 67, n. 4, p. 877–880, abr. 1998.
- Botelho, L. L. R.; Cunha, C. C. De A.; Macedo, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. Gestão e Sociedade, v. 5, n. 11, p. 121, 2 dez. 2011.
- BRASIL. Lei no 8.248, de 23 de outubro de 1991. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8248.htm>. Acesso em: 7 nov. 2023.
- Butts, A.; Wilber, J.; Rose, S. Help wanted!: A researcher's guide to utility-university collaborations. The Electricity Journal, v. 32, n. 10, p. 106680, dez. 2019.
- Caraça, J.; Lundvall, B.-Å.; Mendonça, S. The changing role of science in the innovation process: From Queen to Cinderella? Technological Forecasting and Social Change, v. 76, n. 6, p. 861–867, 1 jul. 2009.
- Choi, H. et al. Assessing differences between university and federal laboratory postdoctoral scientists in technology transfer. Research Policy, v. 51, n. 3, p. 104456, 1 abr. 2022.
- Dall-Orsoletta, A.; Romero, F.; Ferreira, P. Open and collaborative innovation for the energy transition: An exploratory study. Technology in Society, v. 69, p. 101955, maio 2022.
- Depiné, A.; Teixeira, C. S. Habitats de inovação: conceito e prática. São Paulo: Perse, 2018.
- Etzkowitz, H.; Leydesdorff, L. The Triple Helix--University-industry-government relations: A laboratory for knowledge based economic development. [s.l.] EASST review, 1995. v. 14
- Gunnarsdottir, I. et al. Indicators for sustainable energy development: An Icelandic case study. Energy Policy, v. 164, p. 112926, maio 2022.
- Jackson, P. et al. University–industry collaboration within the triple helix of innovation: The importance of mutuality. Science and Public Policy, v. 45, n. 4, p. 553–564, 1 ago. 2018.

- Jugend, D. et al. Public support for innovation: A systematic review of the literature and implications for open innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 156, p. 119985, jul. 2020.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. *Fundamentos de metodologia científica: Técnicas de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2010.
- Lerman, L. V. et al. How governments, universities, and companies contribute to renewable energy development? A municipal innovation policy perspective of the triple helix. *Energy Research & Social Science*, v. 71, p. 101854, jan. 2021.
- Moraes, L. C. de. *Efeitos da lei de informática na indústria eletroeletrônica nacional*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.
- Oguguo, P. C.; Bodas Freitas, I. M.; Genet, C. Multilevel institutional analyses of firm benefits from R&D collaboration. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 151, p. 119841, fev. 2020.
- Rovere, E. et al. *Mudanças Climáticas: O desafio do século*. Rio de Janeiro, 2016.
- Rüther, R. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. [s.l: s.n.].
- Samant, S.; Thakur-Wernz, P.; Hatfield, D. E. Does the focus of renewable energy policy impact the nature of innovation? Evidence from emerging economies. *Energy Policy*, v. 137, p. 111119, fev. 2020.
- Shkabatur, J.; Bar-El, R.; Schwartz, D. Innovation and entrepreneurship for sustainable development: Lessons from Ethiopia. *Progress in Planning, Innovation and entrepreneurship for sustainable development: Lessons from Ethiopia*. v. 160, p. 100599, 1 jun. 2022.
- Vanino, E.; Roper, S.; Becker, B. Knowledge to money: Assessing the business performance effects of publicly-funded Ramp R&D grants. *Research Policy*, v. 48, n. 7, p. 1714–1737, set. 2019.
- Villarreal, O.; Calvo, N. From the Triple Helix model to the Global Open Innovation model: A case study based on international cooperation for innovation in Dominican Republic. *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 35, p. 71–92, jan. 2015.
- Whittemore, R.; Knafl, K. The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, v. 52, n. 5, p. 546–553, dez. 2005.
- Yun, S.; Lee, J.; Lee, S. Technology development strategies and policy support for the solar energy industry under technological turbulence. *Energy Policy*, v. 124, p. 206–214, jan. 2019.

IMPACTS OF GOVERNMENT-UNIVERSITY-INDUSTRY COOPERATION ON INNOVATION IN THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SECTOR: A CASE STUDY

Abstract. *The growth of renewable energies is linked to scientific research and sometimes to private companies investing in innovative technological and social development. The innovation process takes place collectively and depends on different actors, involving a set of institutional structures that can support and improve this process. This article aims to carry out a bibliographic review of government-university-industry collaboration, with a special focus on photovoltaic solar energy. Thirteen review and research articles published on Science Direct between 2019 and 2023 were analyzed. It was possible to observe the strong influence of public policies on relationships, as well as on the development and prospection of research and development (R&D) projects. Countries that invest in fluid cooperation tend to be more successful in their R&D projects and patents. In addition, this article presents an example of a case study between the partnership between the Federal University of Santa Catarina and the company Huawei do Brasil Telecomunicações LTDA, facilitated by the public incentive of the Informatics Law, which exemplifies the cooperation between the three pillars of the Triple Helix. This project highlights the challenges and opportunities in the development of photovoltaic technologies, with an emphasis on artificial intelligence to support technology development and fault analysis in a photovoltaic solar plant.*

Keywords: *Government-university-industry, renewable energies, photovoltaic solar energy.*