

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE DIREITO, NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO
CURSO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS

HEITOR CAVALCANTE NEVES

**O DESPERTAR DO LEÃO: A LIDERANÇA BRASILEIRA NA TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA A PARTIR DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO**

GOIÂNIA

2024

HEITOR CAVALCANTE NEVES

**O DESPERTAR DO LEÃO: A LIDERANÇA BRASILEIRA NA TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA A PARTIR DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à
Escola de Direito, Negócios e Comunicação da Pontifícia
Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel(a) em Relações Internacionais.

Orientador(a): Prof. Me. Giovanni Hideki Chinaglia Okado

GOIÂNIA

2024

Neves, Heitor Cavalcante. 2024.

O despertar do Leão: a liderança brasileira na transição energética a partir do sistema nacional de inovação/ Heitor Cavalcante Neves – Goiânia, 2024.

Total de folhas: 76 f. il.

Orientador: Prof. Me. Giovanni Hideki Chinaglia Okado

Monografia (Curso de Graduação em Relações Internacionais) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2024.

1. Sistema de Inovação Brasileiro 2. Hidrogênio Verde 3. Transição Energética
4. Brasil. I. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Escola de Direito, Negócios e Comunicação. II. O despertar do leão: A liderança brasileira, a partir do sistema de inovação, na transição energética

RESUMO

Este trabalho analisa o Sistema Brasileiro de Inovação (SBI), destacando sua importância para a transição energética global e para o protagonismo do Brasil no mercado emergente de hidrogênio verde (H₂V). Por meio de uma revisão bibliográfica abrangente e de um estudo de caso, a pesquisa identifica os desafios estruturais do SBI, como a fragmentação entre os atores da inovação — governo, setor privado e academia — e a ausência de uma visão sistêmica e coordenada. Discute-se como esses entraves comprometem a capacidade do Brasil de ser protagonista na transição energética, mesmo com vantagens como recursos naturais abundantes e uma matriz energética predominantemente renovável. O trabalho também explora o papel estratégico do H₂V como vetor de descarbonização e do reposicionamento geopolítico brasileiro, enfatizando a necessidade de políticas públicas que promovam a integração tecnológica e econômica. Os resultados indicam que, para transformar seu potencial em H₂V, o Brasil precisa fortalecer seu sistema de inovação, adotar estratégias redistributivas e alinhar suas metas climáticas às demandas internacionais. Conclui-se que o sucesso do Brasil depende de uma coordenação eficaz entre inovação e sustentabilidade, consolidando sua posição em um cenário energético global cada vez mais competitivo.

Palavras-chave: sistema de inovação brasileiro; hidrogênio verde; transição energética.

ABSTRACT

This study analyzes the Brazilian Innovation System (SBI), emphasizing its importance for the global energy transition and Brazil's leadership in the emerging green hydrogen (H₂V) market. Through a comprehensive literature review and a case study, the research identifies structural challenges within the SBI, such as the fragmentation among innovation actors—government, private sector, and academia—and the lack of a systemic and coordinated vision. It examines how these obstacles undermine Brazil's ability to lead the energy transition, despite advantages like abundant natural resources and a predominantly renewable energy matrix. The study also explores the strategic role of H₂V as a decarbonization driver and a tool for Brazil's geopolitical repositioning, highlighting the need for public policies that foster technological and economic integration. The findings indicate that to unlock its H₂V potential, Brazil must strengthen its innovation system, adopt redistributive strategies, and align its climate goals with international demands. The study concludes that Brazil's success depends on effective coordination between innovation and sustainability, consolidating its position in an increasingly competitive global energy landscape.

Keywords: Brazilian innovation system; green hydrogen; energy transition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de um Sistema de Inovação	22
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estratégias de transição energética em economias globais	48
Tabela 2. Principais riscos e estratégias de mitigação nos projetos de hidrogênio verde	51
Tabela 3. Principais financiadores e programas de apoio ao hidrogênio verde no brasil	53
Tabela 4. Importações brasileiras relacionadas ao hidrogênio verde	57
Tabela 5. Projetos de hidrogênio verde no Brasil	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- BRICS - Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
- BLUES - Brazilian Land Use and Energy System
- C&T - Ciência e Tecnologia
- CAPES - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ENI - Estratégia Nacional de Inovação
- FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
- FNDCT - Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- FORMICIT - Formulário sobre política de propriedade intelectual dos Institutos de Ciência e Tecnologia do Brasil
- GII - *Global Innovation Index*
- H2V - Hidrogênio Verde
- ICTs - Institutos de Ciência e Tecnologia
- Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IRENA - Agência Internacional para Energias Renováveis
- ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica
- MCTI - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil
- MEC - Ministério da Educação
- MME - Ministério de Minas e Energia do Brasil
- NDCs - Contribuições Nacionalmente Determinadas
- NITs - Núcleos de Inovação e Tecnologia
- OCDE - Organização para a cooperação e desenvolvimento econômico
- P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
- PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia
- PINTEC - Pesquisa de Inovação Semestral
- PMEs - Pequenas e Médias empresas
- PNI - Política Nacional de Inovação

PPA - *Power Purchase Agreement*

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SBI - Sistema Brasileiro de Inovação

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SI - Sistema de Inovação

SNI - Sistema Nacional de Inovação

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 DISCUSSÃO TEÓRICA SOBRE INOVAÇÃO	13
1.1 A EVOLUÇÃO DAS TEORIAS DE INOVAÇÃO	13
1.2 O LEÃO ESCONDIDO: A PERSPECTIVA DE MARIANA MAZZUCATO SOBRE INOVAÇÃO	22
1.2.1 O Estado Leão e a Indústria Verde: Caminhos para a Transição Energética	28
2 PANORAMA DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BRASILEIRO E HIDROGÊNIO VERDE	33
2.1 O LEÃO ADORMECIDO: DIAGNÓSTICO DO SISTEMA BRASILEIRO DE INOVAÇÃO	33
2.2 O GATO E O LEÃO: ENERGIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL	44
2.3 O HIDROGÊNIO VERDE: A ENERGIA QUE ACORDARÁ O LEÃO	49
CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS	66

INTRODUÇÃO

A inovação tem sido o motor central do progresso humano, indo além dos aspectos econômicos para transformar estruturas sociais, políticas e culturais. Ela impulsiona a produtividade, cria novos mercados, redefine comportamentos e revoluciona serviços essenciais como saúde e educação. No campo político, a inovação altera dinâmicas de poder, fortalecendo lideranças globais em setores estratégicos e redesenhando as relações entre os atores do sistema internacional. Por isso, o presente trabalho estuda e classifica a sistematização da inovação no Brasil e como esse sistema de inovação tem sido estruturado na transição energética, especificamente no caso hidrogênio verde (H₂V).

Entende-se que a definição schumpeteriana de inovação é um bom ponto de partida para a reflexão conceitual em torno do tema, porque abrange a introdução de novas combinações no mercado, seja por meio de novos produtos, métodos de produção, formas de comercialização ou mudanças na estrutura organizacional (Lundvall, 2016). Essa definição enfatiza a inovação como um fenômeno sistemático, resultado das interações entre governo, empresas, academia e sociedade civil. A sistematização permite identificar gargalos, otimizar recursos e acelerar o desenvolvimento tecnológico, promovendo, não apenas crescimento econômico, mas também sustentabilidade e equidade social.

Considerando a definição schumpeteriana de inovação, Mariana Mazzucato (2015) adota uma concepção sistêmica e propõe uma analogia que está incorporada ao título deste trabalho e aos capítulos e seções. Para a autora, o capitalismo pode ser comparado a um sistema selvagem, onde a competição constante conduz à "seleção natural" das empresas mais adaptadas às mudanças e demandas do mercado. Nesse ecossistema, muitas vezes as empresas se comportam como leões, dominando a dinâmica do mercado, enquanto os Estados, mesmo sendo parte do sistema, agem como gatos domesticados, reativos às forças de mercado e distantes de uma postura de liderança. Mazzucato (2015), no entanto, desafia essa visão e propõe que os Estados assumam um papel ativo como arquitetos do crescimento, capazes de moldar e direcionar o mercado.

No que se refere à inovação, a transição energética global emerge como uma oportunidade para que o Brasil redefina seu papel no sistema internacional. O hidrogênio verde, produzido por fontes renováveis como a energia eólica e solar, tem se destacado como uma tecnologia transformadora, fundamental para descarbonizar setores industriais intensivos e viabilizar uma economia sustentável. Com uma matriz energética predominantemente

renovável e recursos naturais abundantes, o Brasil possui vantagens competitivas para se consolidar como líder no mercado global de H₂V. Contudo, para aproveitar plenamente essas oportunidades, é essencial integrar a inovação tecnológica às políticas públicas, enfrentando desafios estruturais do Sistema Brasileiro de Inovação (SBI), como a fragmentação entre os atores e a ausência de uma visão sistêmica de longo prazo.

A atuação do Estado, embora central, precisa ser estratégica e redistributiva, como defende Mariana Mazzucato (2022). No Brasil, a ausência dessa redistribuição limita tanto a expansão quanto a difusão da inovação, comprometendo o protagonismo nacional em setores estratégicos como o H₂V. Além disso, a inovação tecnológica não é um fenômeno isolado, mas sim um processo profundamente influenciado por fatores culturais e estruturais. No caso brasileiro, a carência de uma cultura de inovação permeia tanto as instituições públicas quanto o setor privado, dificultando a criação de um ambiente favorável ao surgimento e à difusão de tecnologias disruptivas. Isso explica, em parte, a predominância de inovações incrementais e a dificuldade do país em consolidar ecossistemas de inovação integrados.

Dessa forma, a integração do H₂V ao cenário nacional exige, não apenas investimento e infraestrutura, mas também uma mudança de mentalidade que valorize a inovação como pilar estratégico para o desenvolvimento sustentável. Essa abordagem demanda uma articulação mais efetiva entre os atores da inovação e uma visão de longo prazo que alinhe os interesses nacionais às oportunidades globais.

Este trabalho investiga o posicionamento do Brasil no mercado de hidrogênio verde por meio da utilização estratégica do Sistema Brasileiro de Inovação, assim como as perspectivas para promover a inovação tecnológica e fortalecer a liderança do país na transição energética global. A pergunta norteadora é: como o Brasil pode utilizar estrategicamente seu sistema de inovação para se consolidar no mercado de hidrogênio verde e liderar a transição energética? A hipótese sugere que o Brasil adota uma abordagem fragmentada e reativa em seu sistema de inovação, dificultando sua consolidação como fornecedor estratégico de hidrogênio verde no mercado global.

Para a investigação da hipótese, a pesquisa adota uma metodologia qualitativa, baseada no estudo de caso do hidrogênio verde. Como destacam Sátyro e D’Albuquerque (2020), esse método permite compreender fenômenos multifacetados em seus contextos reais, oferecendo uma base teórica e empírica para a formulação de políticas mais eficazes. Justifica-se a escolha do hidrogênio verde, porque há necessidade de uma análise profunda de sua relevância

estratégica, considerando a complexidade das interações entre políticas públicas, desenvolvimento tecnológico e sustentabilidade ambiental.

Embora o Brasil tenha avançado em iniciativas relacionadas ao hidrogênio verde, como parcerias internacionais e projetos pilotos, a pesquisa identifica que esses esforços ainda carecem de coordenação e escala, o que reforça a importância de uma estratégia nacional mais integrada. Assim, ao investigar o papel do Estado e os desafios enfrentados pelo SBI, pretende-se contribuir para o debate sobre como o Brasil pode não apenas participar, mas liderar a transição energética global.

Por fim, este trabalho se insere na subárea da Economia Política Internacional e está estruturado em torno de dois capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma revisão teórica das principais abordagens sobre inovação, com destaque para os trabalhos de Joseph Schumpeter (1992), Mariana Mazzucato (2013) e estudos sobre eco-inovação, estabelecendo o referencial teórico necessário para compreender a relevância da inovação em processos de transição sustentável. O segundo capítulo realiza um diagnóstico do Sistema Brasileiro de Inovação (SBI), com foco no setor energético nacional e sua inserção na transição energética global, ressaltando o papel do hidrogênio verde como uma tecnologia central para a descarbonização e o potencial do Brasil nesse mercado.

1 DISCUSSÃO TEÓRICA DA INOVAÇÃO

Este primeiro capítulo apresenta um panorama das teorias de inovação desde a sua primeira esquematização de forma mais sistêmica por Joseph Schumpeter e as evoluções das teorias, apresentando um dos principais conceitos trabalhados no trabalho, o conceito de Sistema Nacional de Inovação, incluindo os principais atores desse sistema (o Estado, as empresas e as instituições de ensino). A primeira seção propõe uma revisão bibliográfica as teorias de inovação, partindo da concepção schumpeteriana até as abordagens mais complexas e sistêmicas, incluindo o conceito de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), com ênfase na interação entre governo, empresas e instituições de ensino como base para o desenvolvimento tecnológico sustentável. Já na segunda seção, trata-se do pensamento de Mariana Mazzucato (2015), uma economista contemporânea keynesiana e schumpeteriana, sobre a inovação e a ação do Estado sobre a economia, defendendo um Estado empreendedor e proativo. Por fim, a última seção aborda a visão de Mazzucato (2015) sobre inovação verde, destacando sua perspectiva de transformação sistêmica e o papel central do Estado na condução da transição energética e no enfrentamento de desafios sociais e ambientais.

1.1 A EVOLUÇÃO DAS TEORIAS DE INOVAÇÃO

Joseph Schumpeter (1982) foi pioneiro ao estudar a inovação de uma maneira sistematizada, especialmente ao considerar seu papel como força motriz do crescimento econômico. Ele definiu inovação como a introdução de novas combinações no mercado, seja por meio de novos produtos, métodos de produção, formas de comercialização ou mudanças na estrutura organizacional (Lundvall, 2016). Sua abordagem se concentrou no empreendedor inovador, que, ao criar e introduzir novidades, desencadeia uma série de investimentos e imitações que impulsionam a economia. Apesar de sua influência, o escopo linear de Schumpeter é limitado por ser uma análise primária que não contempla a complexidade moderna dos processos inovativos.

A visão de Schumpeter evoluiu para um conceito mais sistêmico de inovação, incluindo a interação de múltiplos atores, como governo, empresas e academia, e passou a abordar também aspectos sociais, culturais e ambientais. Embora Schumpeter tenha identificado os estágios de invenção, inovação e difusão, esses passos foram considerados insuficientes por estudos posteriores, como os de Greenacre *et al.* (2012), Xu *et al.* (2007), Lundvall (1992) e

Mazzucato (2023), que destacaram as complexas interações sociais e sistêmicas envolvidas no processo inovador, superando a perspectiva linear originalmente proposta.

Nos anos 1950 e 1960, as teorias de inovação oscilaram entre as abordagens de empurrão tecnológico e puxão da demanda. O empurrão tecnológico focava na negligência em relação aos preços e outras condições econômicas que afetavam a viabilidade das inovações. Em contrapartida, a abordagem de puxão da demanda enfatizava que as mudanças na demanda de mercado criariam oportunidades para investimentos em inovação, incentivando a solução de problemas não resolvidos. Contudo, com o desenvolvimento do estudo da inovação, ambas as perspectivas foram consideradas simplistas, levando ao desenvolvimento de teorias mais complexas que reconhecem a interação com elementos além da oferta e demanda (Foxon, 2008; Greenacre *et al.*, 2012).

Entre as décadas de 1970 e 1990, as teorias de inovação evoluíram significativamente, destacando três abordagens principais: inovação induzida, economia evolutiva e dependência de trajetória. A primeira sugere que mudanças econômicas, como variações nos preços dos fatores de produção, impulsionam inovações que economizam o uso do fator mais caro. A economia evolutiva, baseada nas ideias de Schumpeter, vê a mudança tecnológica como um processo incremental influenciado por variáveis econômicas, sociais, institucionais e tecnológicas, resultando em feedbacks contínuos. Por fim a dependência de trajetória é uma característica como uma instituição, um padrão técnico ou um padrão de desenvolvimento econômico pode ser formado por uma sequência de ações anteriores, em vez de ser baseado nas condições atuais (Greenacre *et al.*, 2012; Nelson, 1994; Foxon, 2003).

Dessa forma, os pesquisadores começaram a propor outras formas de análise da inovação que integrassem essas abordagens em uma teoria mais abrangente dos sistemas de inovação. Por exemplo, Nelson e Winter (1982 *apud* Ulen, 1983) destacaram a incerteza nas fases iniciais da inovação e o papel crucial das estruturas institucionais em fornecer incentivos ou criar barreiras à inovação.

O processo de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) é visto como uma busca por soluções orientada tanto pela capacidade tecnológica quanto pelas necessidades dos usuários, criando uma variedade de possibilidades que são testadas em um ambiente composto por elementos de mercado e não-mercado (Nemet, 2007).

Nelson (1993) propôs que novas tecnologias seguem um ciclo de desenvolvimento, começando com vários *designs* concorrentes. À medida que o mercado cresce, ocorre uma adaptação institucional para atender às novas necessidades tecnológicas, levando ao estabelecimento de um "*design* dominante". Durante essa fase de mudança incremental, muitas empresas investem na melhoria de suas competências relacionadas à arquitetura dominante. Kemp e Foxon (2007) introduzem o modelo "encadeado", que representa os *feedbacks* sistêmicos no processo de inovação.

Este modelo ilustra os loops de *feedback* entre pesquisa, conhecimento científico e tecnológico, mercado potencial, invenção e os passos no processo de produção, avançando a compreensão da complexidade do processo de inovação. Freeman e Perez (1988) propuseram uma taxonomia da inovação que inclui inovações incrementais, inovações radicais, mudanças de sistema tecnológico e paradigmas tecnológico-econômicos. As inovações incrementais referem-se a melhorias graduais em produtos ou processos existentes, que aumentam a eficiência ou a qualidade sem causar mudanças significativas no mercado ou na economia, como ajustes em equipamentos industriais. As inovações radicais, por outro lado, introduzem tecnologias completamente novas, rompendo padrões e transformando mercados inteiros, como o surgimento do computador pessoal. Já as mudanças de sistema tecnológico envolvem a integração de várias inovações interligadas, resultando em alterações significativas em setores da economia, como foi o caso da eletrificação, que revolucionou os sistemas de transporte e manufatura. Por fim, os paradigmas tecnológico-econômicos representam transformações abrangentes que redefinem os fundamentos da produção e distribuição econômica em escala global, como a revolução digital ou a transição para tecnologias sustentáveis. Essa taxonomia oferece uma compreensão mais ampla dos diferentes graus de impacto que as inovações podem exercer sobre sistemas econômicos e sociais.

Entre 1980 e 2000, o modelo linear de inovação foi substituído pelo Sistema de Inovação (SI), que reflete a complexidade do processo ao integrar condições como estrutura institucional, ciência e engenharia, transferência tecnológica e dinamismo, segundo Lundvall (1992), Nelson (1993) e Freeman e Perez (1988). Tais domínios e suas interações são cruciais para a capacidade inovadora das empresas e para o um crescimento econômico sustentável.

A abordagem dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) concentra-se na análise dos sistemas de inovação em diferentes países, reconhecendo que as principais forças condutoras institucionais são encontradas no nível nacional. Um sistema nacional de inovação é definido

como as redes de instituições nos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias. Além disso, esse sistema faz parte de uma economia do conhecimento, e este pressupõe o aprendizado, que é um fenômeno social, portanto, na base de um sistema nacional de inovação, está a sociedade (Lundvall, 1993; Freedman e Perez, 1988; Foxon, 2003; Xu *et al.*, 2006).

Neste sentido, os governos desempenham um papel de colaboração junto às indústrias e à base científica para orientar e apoiar o desenvolvimento e a comercialização de tecnologias avançadas. Essa colaboração envolve uma abordagem integrada para P&D, design, aquisição, produção e marketing dentro das grandes empresas (Greenacre *et al.*, 2012).

As interações entre usuários e produtores são fundamentais para facilitar o fluxo de informações e conhecimentos que conectam as capacidades tecnológicas às necessidades dos usuários, indo além dos mecanismos de mercado tradicionais. As variáveis nos sistemas de inovação refletem as condições econômicas e políticas de cada país, incluindo sistemas de pesquisa universitária, treinamento e P&D industrial, instituições financeiras, habilidades de gestão, infraestrutura pública, bem como políticas monetárias, fiscais e comerciais nacionais.

Entretanto, Chang (2004) demonstra que nos países capitalistas mais desenvolvidos o processo de desenvolvimento econômico se deu, não só por uma série de medidas protecionistas, as quais permitiram que eles desenvolvessem as suas próprias indústrias, mas também devido a experiências únicas do sistema internacional, como imperialismo, comércio bélico nas guerras etc. No entanto, a questão central é que atualmente os países desenvolvidos se contradizem ao afirmar que os países em desenvolvimento devem adotar medidas de liberalização econômica para promover seu crescimento. Essa contradição gera um dilema em relação aos dados essenciais para compreender os sistemas de inovação de cada país na atualidade.

O modelo de Sistemas Nacionais de Inovação, amplamente desenvolvido, caracteriza o processo de inovação pela atuação de diferentes atores e instituições, tais como pequenas e grandes empresas, usuários, agências governamentais e reguladoras, universidades e institutos de pesquisa. As interações, fluxos de conhecimento, financiamento e influência entre esses atores, juntamente com os incentivos para a inovação criados pelo sistema institucional, são essenciais para a capacidade inovadora de um país (Greenacre *et al.*, 2012).

Além disso, no âmbito do Sistema Nacional de Inovação, é possível observar a Capacidade Inovadora Nacional (CIN), conceito desenvolvido por Porter e Sachs (2002). A CIN refere-se ao potencial de um país enquanto uma entidade política e econômica – baseado na proporção de cientistas e engenheiros; nas políticas de inovação; no ambiente de inovação de *clusters*; e nas interações entre os entes - para gerar uma sequência contínua de inovações que sejam relevantes nos mercados. Isso abrange a infraestrutura comum de inovação, incluindo recursos humanos e financeiros dedicados à inovação, políticas que impactam a inovação e o nível de sofisticação tecnológica da economia. Além disso, considera as condições específicas dos clusters, definidos como concentrações geográficas de empresas e instituições interconectadas em um campo específico. Nesse sentido, a qualidade das conexões entre a infraestrutura comum e os clusters industriais é crucial, já que os clusters contribuem e se beneficiam da infraestrutura, criando uma relação bidirecional (Porter e Sachs, 2002).

Ao analisar o papel das universidades nacionais, conforme mencionado anteriormente, observa-se que elas têm desempenhado uma função crucial como um elo significativo entre tecnologia e empresas, sendo essenciais para a produção técnico-científica. Durante os anos 1990, a pesquisa sobre sistemas de inovação expandiu-se do nível nacional para considerar também o nível regional, especialmente nos setores de TI e biotecnologia.

A lente de Sistemas de Inovação Setorial examina, dentro de um setor específico, um conjunto de produtos novos e estabelecidos e os agentes envolvidos na criação, produção e venda desses produtos, transcendendo fronteiras tecnológicas e nacionais específicas, com setores localizados em clusters regionais pequenos ou abrangendo redes globais, como em corporações multinacionais (Foxon, 2010).

Compreendida a evolução dos debates teóricos sobre a inovação pré-Schumpeter até os dias atuais, é crucial compreender melhor o sistema de inovação. Conceito esse que, segundo diversos autores como Fiates (2017), Anderson (2001), Nelson (1993) e Lundvall (1992), envolve um conjunto de elementos e interligações que influenciam a produção, disseminação e utilização de conhecimentos novos e úteis do ponto de vista econômico, promovendo o desenvolvimento inovativo. Os principais componentes desse sistema incluem instituições, redes, articulações, políticas, governança, institutos de pesquisas e universidades, infraestrutura, tecnologia, entre outros (Piccinini *et al*, 2017).

Eduardo Motta e Alburqueque (1996) introduzem uma tipologia que classifica os sistemas nacionais em três categorias: a primeira, que enquadra os países que têm um sistema

maduro e estão sempre na vanguarda tecnológica e na liderança da inovação; a segunda categoria, que compreende os sistemas nacionais cujo principal objetivo é a difusão de inovações, países esse que se especializaram em nichos de mercado, ou seja, que atuam com a inovação em bloco; e por fim, a terceira categoria, com sistemas incompletos, “países que construíram um sistema de ciência e tecnologia que não se transformaram em um sistema de inovação” (Albuquerque, 1996). Aqui se encaixam, segundo o autor, muitos países em desenvolvimento, como o Brasil, devido à falta de articulação entre os atores da inovação e à insustentabilidade do sistema, o que existe não é um sistema de inovação, mas uma versão menos desenvolvida, um sistema de tecnologia e desenvolvimento considerado imperfeito, ainda não alcançando o nível de sistema inovativo.

Como o Sistema Nacional de Inovação (SNI) é uma construção institucional que impulsiona o progresso tecnológico em economias capitalistas complexas, sua diversidade manifesta-se em características específicas, como as particularidades das empresas inovadoras de cada país, sua interação com instituições de pesquisa, o papel do governo na articulação do sistema e fatores como arranjos financeiros e formação profissional dos trabalhadores (Albuquerque, 1996). Analisar o SNI requer uma abordagem estruturada, como a proposta por Bergek *et al.* (2008), que avalia o desempenho do sistema ao identificar fatores que influenciam sua funcionalidade. Essa abordagem começa pela definição do objeto de análise, neste caso o Brasil, delimitando os principais atores, instituições e redes de conexão para compreender a dinâmica do sistema.

O modelo de Bergek *et al.* (2008) define sete funções que um SNI funcional deve cumprir: legitimação, formação de mercado, desenvolvimento de conhecimento, mobilização de recursos, influência na direção das pesquisas, experimentação empresarial e desenvolvimento de economias externas. A avaliação dessas funções permite identificar pontos fortes e fracos do sistema, oferecendo um panorama das lacunas e oportunidades que impactam o desenvolvimento do SNI brasileiro. Essa análise destaca os mecanismos que impulsionam ou bloqueiam o avanço tecnológico e a inovação no país.

Para medir a maturidade das interações entre empresas e universidades, Roczanski (2016) propõe um modelo que descreve cinco fases dessa relação¹, as quais refletem o esforço

¹ São elas: "*pre-linkage*" (identificação de potenciais parceiros), "*establishment*" (negociações e acordos), "*engagement*" (colaboração ativa), "*advancement*" (sustentabilidade da parceria) e "*latent phase*" (fortalecimento contínuo).

de integração entre conhecimento acadêmico e aplicação prática no setor produtivo, revelando a importância de consolidar parcerias efetivas para promover a inovação.

Para analisar o papel do empresariado como ator fundamental nos sistemas de inovação, é útil adotar a perspectiva de Ecossistemas Empresariais. Esses ecossistemas refletem as características e desafios específicos de cada contexto econômico em relação à inovação e ao empreendedorismo. Júnior *et al.* (2016) utilizam o Índice Global de Empreendedorismo para examinar o desempenho empresarial, avaliando três dimensões principais: atitudes, habilidades e aspirações empreendedoras. Essa abordagem é particularmente relevante porque o setor empresarial desempenha um papel central no sistema de inovação, influenciando diretamente a competitividade e a resiliência econômica. Nesse contexto, a inovação não apenas promove a recuperação econômica em momentos de crise, mas também gera empregos qualificados e incentiva processos produtivos mais sustentáveis, essenciais para o desenvolvimento econômico.

O conceito de inovação nesses ecossistemas está alinhado à visão de Schumpeter, que identifica o empreendedor como o agente responsável por impulsionar mudanças tecnológicas. Para Schumpeter, o empreendedor reconhece o potencial de invenções, assumindo os riscos necessários para transformá-las em inovações e gerar lucros extraordinários. Esse modelo teórico fundamenta os Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), que entendem a inovação como um resultado de interações complexas entre empresas, instituições de pesquisa e políticas públicas. Após a Segunda Guerra Mundial, países como Alemanha e Japão adotaram sistemas de inovação nacionais como estratégia para promover a recuperação econômica e a modernização tecnológica, mostrando que o alinhamento entre ciência e tecnologia pode ser um fator determinante para o sucesso econômico (Lundvall, 1992).

Já o modelo da Tríplice Hélice, que envolve a interação entre governo, empresas e universidades, é uma abordagem amplamente reconhecida no estudo da inovação. Ele destaca a importância dessas três esferas na criação de um ambiente colaborativo para o desenvolvimento tecnológico e a inovação. Através desse modelo, o Estado formula políticas públicas e incentiva o empreendedorismo, enquanto as empresas aplicam conhecimentos na prática e as universidades se dedicam à pesquisa e ao desenvolvimento de novas tecnologias (Nascimento, 2023). Com o tempo, a Tríplice Hélice foi complementada por modelos mais amplos, como a Quádrupla e a Quíntupla Hélice, que incorporam a sociedade civil e o meio ambiente como elementos centrais do processo de inovação. Esses modelos sugerem que a

sustentabilidade ambiental e a participação social são essenciais para promover um sistema de inovação robusto e capaz de enfrentar os desafios contemporâneos, como as mudanças climáticas e a necessidade de um desenvolvimento mais sustentável (Piccinini *et al.*, 2017; Greenacre *et al.*, 2012).

Ainda assim, a compreensão dos desafios globais de sustentabilidade requer uma perspectiva mais dinâmica e integrada, como a proposta por Mariana Mazzucato em seus estudos sobre inovação orientada por missões. Em vez de focar apenas nas interações entre os três atores tradicionais, Mazzucato (2015) defende uma abordagem em que o Estado desempenha um papel de liderança, direcionando investimentos e políticas para enfrentar desafios sociais e ambientais específicos, trazendo um foco mais estratégico e alinhado às necessidades de transformação ecológica. Essa perspectiva se diferencia da visão tradicional da Tríplice Hélice ao colocar a sustentabilidade como objetivo das políticas de inovação, e não apenas como um elemento adicional.

Diferentes teorias têm sido desenvolvidas ao longo do tempo para explicar como ocorre o processo de inovação, destacando-se entre elas a teoria de aprendizado interativo, a análise de redes e a teoria dos blocos de desenvolvimento. Já no que tange o papel do Estado quanto formulador das políticas públicas e indutor da inovação, há duas teorias essenciais de se compreender: A teoria de aprendizado interativo se concentra nas interações entre usuários e produtores dentro de mercados organizados. Ela sugere que a inovação de produtos frequentemente ocorre fora das empresas tradicionais e destaca a importância da qualidade da demanda para direcionar o desenvolvimento de novos produtos. A análise de redes examina as tensões entre a integração vertical e a colaboração horizontal na criação de novos mercados, enfatizando a necessidade de uma organização focal para superar desafios em redes de tecnologias emergentes. Já a teoria dos blocos de desenvolvimento aborda as tensões estruturais induzidas pela inovação, destacando a formação de redes amplas de produtores e usuários que superam problemas de massa crítica através de aprendizado interativo (Edquist e Hommen, 1999).

Essas teorias ressaltam a importância de políticas públicas estratégicas que criem um ambiente propício à inovação, promovam mercados organizados e facilitem a interação entre usuários e produtores. Intervenções eficazes podem incluir apoio à pesquisa e desenvolvimento, incentivos à colaboração entre empresas e a formação de redes de inovação. A teoria de Aprendizado Interativo destaca a necessidade de uma demanda qualitativamente informada,

enquanto a análise de redes sugere a criação de mercados organizados para superar problemas de massa crítica. Já a Teoria dos Blocos de Desenvolvimento enfatiza o suporte a redes amplas que promovam aprendizado coletivo e desenvolvimento tecnológico, integrando aspectos cruciais das interações entre os diferentes atores do sistema de inovação (Edquist e Hommen, 1999).

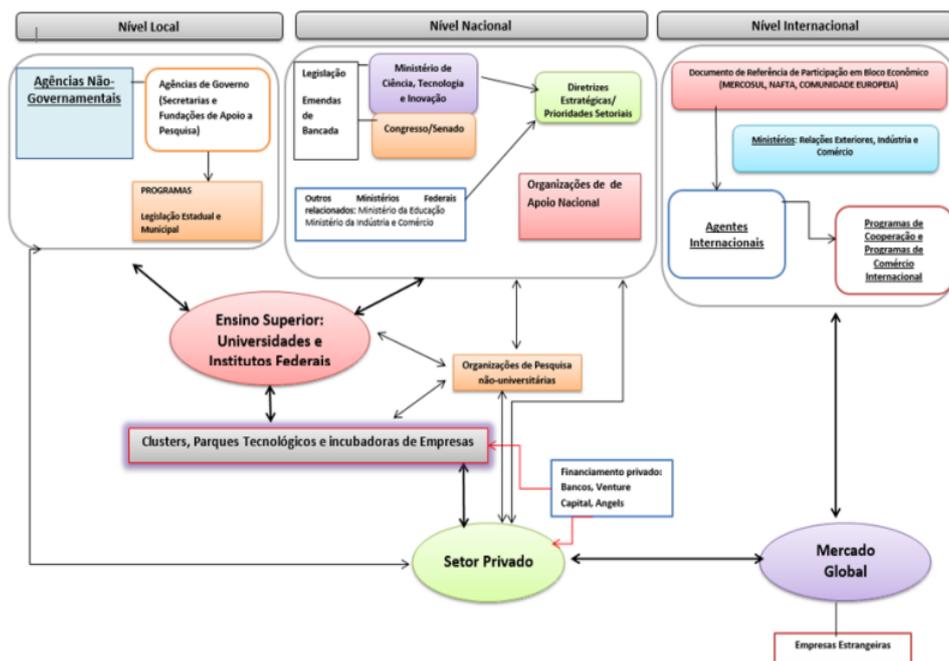
Uma das principais variáveis, para uma parte dos autores, como Albuquerque (1996) para compreender o desenvolvimento de um sistema de inovação atualmente são as patentes. Frequentemente utilizada em índices internacionais, elas são consideradas resultados tangíveis da capacidade de uma organização em absorver conhecimento e guardar informações que refletem o histórico da organização em termos de conhecimento tecnológico. Dessa forma, costumam a ser utilizadas para medir o desenvolvimento e o desempenho inovador da organização. No entanto, existe algumas falhas em se usar as patentes como indicador de inovação em um mundo globalizado, por exemplo, o aumento no número total de patentes solicitadas ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) nem sempre reflete diretamente os resultados e esforços nacionais para promover a inovação (Albuquerque, 1996). Em 2012, o Brasil, uma economia em desenvolvimento, apresentou uma quantidade maior de patentes registradas por empresas estadunidenses do que por brasileiras, evidenciando uma dificuldade recorrente na mensuração efetiva da inovação e do desenvolvimento tecnológico interno. Essa discrepância levanta questionamentos sobre a adequação dos registros de patentes como indicadores de inovação, visto que tais métricas podem não refletir com precisão a capacidade inovadora do país (Albuquerque, 1996). Autores como Mariana Mazzucato (2015) argumentam que a contagem de patentes não captura a verdadeira dinâmica da inovação, pois ignora aspectos qualitativos e o impacto social dos avanços tecnológicos.

Outros indicadores importantes para compreender o SNI incluem os investimentos nacionais em pesquisa e desenvolvimento (P&D), atividades de patenteamento, percentual de empresas inovadoras e contratos de tecnologia entre academia e indústria. Esses elementos são essenciais para medir tanto as entradas quanto as saídas do Sistema Nacional de Inovação. Por exemplo, os marcos legais que fomentam a inovação atuam como mediadores reguladores (Nascimento *et al.*, 2023).

O sistema de inovação é caracterizado por sua complexidade, resultado da colaboração entre academia, governo e setor privado. Aceleradoras e incubadoras desempenham papéis importantes, apoiando empresas emergentes com orientação, infraestrutura e redes de contato,

o que facilita o desenvolvimento de planos de negócios e a gestão tecnológica, preparando-as para competir em escala global. Adicionalmente, parques tecnológicos promovem uma cultura de inovação ao fornecerem ambientes propícios para a produção industrial e serviços baseados em ciência e tecnologia, impulsionando o desenvolvimento regional por meio da transferência de conhecimento e inovação (Piccinini *et al.*, 2017).

Imagem 1 – Representação de um Sistema de Inovação



Fonte: Fiates (2017)

Essas iniciativas refletem a diversidade de estratégias adotadas pelo país no sistema de inovação, desde aquelas que buscam liderar o processo tecnológico internacional até as que priorizam a difusão da inovação ou enfrentam desafios na construção de sistemas de inovação completos. Essas diferenças são evidenciadas pela produtividade das atividades científicas, gastos em P&D e articulação entre setor produtivo e privado.

1.2 O LEÃO ESCONDIDO: A PERSPECTIVA DE MARIANA MAZZUCATO SOBRE INOVAÇÃO

Mariana Mazzucato (2015) defende que o Estado deve ser um agente proativo e moldador de mercados, especialmente em áreas estratégicas como a transição energética, desafiando a visão tradicional de sua atuação limitada a corrigir falhas de mercado. Sua abordagem destaca

o papel crucial do Estado na redução de incertezas e na promoção de trajetórias tecnológicas que o setor privado, geralmente avesso a riscos elevados, não estaria disposto a explorar sozinho. Além disso, Mazzucato (2015) examina diversos mitos sobre o papel do setor público e privado na inovação. Ela desmistifica ideias, como a de que a inovação é sinônimo de P&D, de que pequenas empresas são mais inovadoras que grandes, ou que o capital de risco está disposto a assumir riscos elevados. Pelo contrário, sua análise mostra que o capital de risco geralmente evita os investimentos de longo prazo e prefere projetos que estão próximos da comercialização e apresentam menos incertezas. Isso cria uma relação parasitária em que empresas privadas beneficiam-se dos subsídios e investimentos governamentais, mas, ao mesmo tempo, reduzem seus próprios investimentos em pesquisa e desenvolvimento, essencial para um sistema de inovação robusto.

A autora argumenta que a inovação de ponta frequentemente resulta de investimentos públicos estratégicos, que vão além do apoio financeiro passivo e envolvem direcionamento intencional para setores prioritários. Essa perspectiva desafia mitos econômicos prevalentes, como a crença de que a inovação é impulsionada exclusivamente por investimentos privados em P&D ou pela disposição do capital de risco em assumir desafios complexos. Mazzucato (2015) enfatiza que a verdadeira inovação ocorre em um ecossistema colaborativo que inclui empresas, universidades e, especialmente, o Estado, cujo papel empreendedor é essencial para a criação de mercados e o avanço tecnológico.

Sua abordagem combina e reconfigura debates teóricos anteriores, atribuindo ao Estado um papel central na promoção de transformações econômicas, em sintonia com conceitos como as Hélices de Inovação, Capacidade Nacional de Inovação e os Sistemas Nacionais de Inovação. Após a pandemia de COVID-19, Mazzucato (2023) também reforça a importância de políticas públicas ambiciosas e bem estruturadas para enfrentar desafios globais e acelerar a transição para uma economia verde. Ela defende que o Estado não deve limitar-se a intervenções reativas, mas adotar políticas visionárias e estratégicas que pavimentem o caminho para inovações sustentáveis e de impacto duradouro.

Mariana Mazzucato (2015) argumenta que políticas de inovação orientadas a desafios exigem que as justificativas tradicionais de falha de mercado para intervenção política, e até mesmo justificativas de falha de sistema, sejam complementadas com uma estrutura de criação de mercado mais ativa. Os desafios sociais exigem mudanças tecnológicas, comportamentais e sistêmicas e têm muito a aprender com aqueles feitos orientados para a missão que levaram a

colocar humanos na lua. Ela entende essas missões como forma de definir direções de mudança – isto é, inclinar (em vez de nivelar) o campo de jogo para favorecer certos tipos de mudança mais do que outros. Colocar a inovação no centro da política de crescimento requer uma ênfase na formação e criação de mercados, em vez de apenas consertá-los, e qualquer estrutura alternativa também deve ir além da correção de falhas do sistema. Quatro questões críticas devem ser consideradas ao construir tal estrutura: (1) a direção da mudança promovida pela política; (2) a natureza das organizações (públicas e privadas) que podem acolher a incerteza subjacente e o processo de descoberta; (3) a avaliação de políticas orientadas para a missão e de criação de mercado; e (4) as formas pelas quais riscos e recompensas podem ser compartilhados para que o crescimento inteligente também possa resultar em crescimento inclusivo.

Quanto mais exigentes os desafios da inovação, como pobreza, problemas de saúde ou danos ambientais, maior se torna a importância de uma política eficaz. Não se trata de "escolher vencedores" - um dilema envolto em incertezas que é de qualquer forma igualmente compartilhado entre os setores público, privado e terceiro. Em vez disso, trata-se de se envolver amplamente em toda a sociedade, a fim de construir as condições mais férteis para decidir o que "ganhar" significa. Embora a identificação dos principais desafios sociais seja direta - mudanças climáticas, envelhecimento, segurança de recursos, habitação, urbanização etc. - traduzir os desafios em missões concretas exigirá o envolvimento de uma série de partes interessadas preocupadas com setores e campos sociotécnicos afetados pelo próprio desafio. Portanto, definir a direção dos investimentos deve ser baseado em um diagnóstico sólido de cada desafio pelo estado, juntamente com outras partes interessadas (Giovanna Ciaffi *et al.*, 2024)

Neste sentido, Diteidi e Mazzucato (2021) argumentam que as políticas públicas orientadas por missões e pela modelagem de mercado oferecem uma nova perspectiva para justificar políticas que buscam transformar os cenários econômicos e sociais, em vez de simplesmente corrigir problemas já existentes. Essas políticas, mais ambiciosas e estruturais, enfrentam desafios em termos de como desenvolver e gerenciar as organizações que as implementam e de como avaliar seus impactos de forma adequada.

Assim, Mazzucato (2015), destaca que o governo tem desempenhado um papel fundamental em inovações tecnológicas radicais, desde o desenvolvimento da internet até a biotecnologia, frequentemente assumindo riscos e investindo em estágios iniciais de projetos de alta incerteza.

Ela argumenta que sem a intervenção pública proativa e o financiamento de longo prazo — o que ela chama de "capital paciente" — muitas das inovações que moldaram o mundo moderno não teriam sido possíveis. O exemplo da *Defense Advanced Research Projects Agency* dos EUA (DARPA), que financiou tecnologias fundamentais para a internet e outros setores, ilustra a importância de uma política pública que não apenas financie a inovação, mas defina a direção que ela deve seguir (Mazzucato, 2015).

Além de financiar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias, Mazzucato (2015) enfatiza que o Estado precisa ter uma visão clara e metas de longo prazo. Políticas públicas efetivas devem ser orientadas por uma abordagem sistêmica, na qual os objetivos são revisados e adaptados continuamente. O ciclo de políticas deve incluir monitoramento, avaliação e reformulação, permitindo ajustes constantes para que os recursos financeiros e humanos sejam alocados de forma eficiente. Esse planejamento estratégico é especialmente relevante em setores como o de energia renovável, onde há uma necessidade urgente de mudanças para enfrentar as mudanças climáticas.

A avaliação dessas políticas deve ir além de critérios tradicionais de eficiência estática e orçamentos limitados, focando, em vez disso, na eficiência dinâmica e na criação de valor público coletivo. Isso significa que as políticas devem ser capazes de gerar efeitos colaterais positivos em diversos setores da economia, além de influenciar o nível geral de investimento e a trajetória de crescimento econômico em longo prazo (Diteidi e Mazzucato, 2021).

Um ponto crucial é a comparação entre a tradicional abordagem de fixação de mercado e a proposta de modelagem de mercado, defendendo que esta última pode enriquecer e diversificar as formas de avaliação de políticas, especialmente aquelas voltadas a enfrentar grandes desafios sociais e econômicos. Para isso, Diteidi e Mazzucato (2021) sugerem que os governos adotem novas ferramentas e técnicas e que priorizem a experiência do usuário e práticas de cocriação, além de metodologias da economia evolucionária, capazes de lidar com a incerteza e os sistemas complexos que caracterizam as políticas de inovação e tecnologia

Apesar das vantagens dessas abordagens, surgem preocupações quanto à definição das missões e ao direcionamento da modelagem de mercado. A captura de governos por grupos de interesse pode limitar suas capacidades de definir missões ambiciosas e sustentáveis, como exemplificado pelas políticas que ainda favorecem a indústria de combustíveis fósseis, apesar dos compromissos ambientais globais. Além disso, a democracia por si só não garante a adoção

dessas missões em larga escala, como evidenciam as políticas recentes nos Estados Unidos e no Brasil (Diteidi e Mazzucato, 2021).

Diteidi e Mazzucato (2021) destacam como diferentes países estão reagindo aos desafios da economia verde, com exemplos de sucesso e fracasso. Por exemplo, como nações, como a China e a Alemanha adotaram políticas consistentes e ambiciosas para fomentar a tecnologia limpa, enquanto os Estados Unidos e o Reino Unido falharam em apresentar uma visão clara e compromissos de longo prazo, principalmente por questões políticas e devido à falta de paciência do capital de risco. A abordagem inconsistente desses países tem limitado os investimentos e, conseqüentemente, o desenvolvimento tecnológico em áreas cruciais como energia solar e eólica. Por outro lado, a China, com seu plano quinquenal, conseguiu mobilizar recursos significativos e direcionar políticas tanto para o lado da demanda quanto da oferta, promovendo um desenvolvimento "circular" que prioriza a sustentabilidade.

Mazzucato (2015) sugere que o sucesso na transição para uma economia verde depende de uma política estatal que vá além do financiamento de P&D, sendo essencial a criação de mercados para tecnologias emergentes e o fornecimento de incentivos que garantam a absorção dessas inovações pelo mercado. A política de capital paciente, como exemplificada pela Alemanha com suas tarifas feed-in, oferece suporte contínuo ao desenvolvimento de energias renováveis, contrastando com a incerteza gerada por políticas inconsistentes, como os créditos fiscais temporários dos Estados Unidos e Reino Unido.

Após a pandemia da COVID-19, o sistema econômico global enfrentou uma recessão significativa, acompanhada por mudanças nas relações e padrões de consumo. Nesse contexto, as obras de Mariana Mazzucato (Giovanna Ciaffi *et al.*, 2024) se destacam como guias para a revitalização econômica, defendendo um papel mais ativo e estratégico do Estado na criação e moldagem de mercados, dando vida ao conceito de Estado empreendedor. Mazzucato (2015) argumenta que o Estado não deve apenas regular o mercado, mas atuar diretamente como um catalisador de inovações, orientando o desenvolvimento econômico e social.

Dileidi e Mazzucato (2021) propõem um modelo macroeconômico teórico que integra dois conceitos complementares. O modelo supermultiplicador Sraffiano, inspirado pelas ideias de Piero Sraffa, enfatiza que o crescimento do PIB é impulsionado pela demanda autônoma, ou seja, aquela que não é diretamente influenciada pela renda, como exportações, gastos públicos ou investimentos privados estratégicos. Essa abordagem sugere que políticas públicas bem desenhadas podem estimular de maneira sustentável o crescimento econômico ao direcionar

recursos para setores estratégicos, aumentando o impacto multiplicador na economia. Por outro lado, a abordagem neo-schumpeteriana, derivada das teorias de Joseph Schumpeter, coloca a inovação no centro do desenvolvimento econômico, destacando o papel do Estado como um agente essencial na promoção e direção de mudanças tecnológicas. Segundo essa perspectiva, o Estado não apenas corrige falhas de mercado, mas também lidera processos de transformação estrutural, criando e moldando mercados por meio de políticas públicas orientadas por missões. A combinação dessas duas abordagens evidencia que políticas fiscais expansionistas, quando direcionadas para setores com alto potencial de inovação, podem gerar efeitos positivos de longo prazo sobre a produção e o investimento, superando os resultados de gastos públicos genéricos (Diteidi e Mazzucato, 2021).

As políticas de inovação orientadas para a missão são um exemplo claro dessa estratégia, envolvendo contratos e parcerias cooperativas entre o setor público e o privado, com foco em objetivos específicos. Tais políticas não apenas produzem um efeito multiplicador maior, como também estimulam diretamente o investimento privado em P&D, criando uma sinergia que fortalece a economia. No modelo proposto, o aumento nos gastos públicos direcionados a setores estratégicos gera impactos estruturais que vão além do curto prazo, promovendo um ciclo virtuoso de inovação e crescimento econômico.

Diteidi e Mazzucato (2021) concluem que políticas fiscais expansionistas, focadas em inovação e orientadas para missões, são mais eficazes para impulsionar o PIB e os investimentos privados em P&D, em comparação com investimentos genéricos em infraestrutura. Elas têm o potencial de resolver problemas sociais e econômicos ao mesmo tempo em que promovem crescimento econômico de forma sustentável e inovadora, com efeitos positivos tanto no curto quanto no longo prazo.

Giovanna Ciaffi *et al.* (2024) refinam o modelo de políticas fiscais aplicado aos 15 países da OCDE, analisando o impacto das políticas fiscais expansionistas em P&D. O estudo demonstra que os investimentos públicos em P&D têm gerado efeitos positivos mais duradouros e estruturais na economia em comparação com outros tipos de gastos, como em infraestrutura, por exemplo, na construção de rodovias. Esse resultado revela que os retornos em P&D são significativamente maiores, com impactos profundos nas políticas fiscais, especialmente no contexto da recuperação econômica desde a crise de 1929.

Mariana Mazzucato e Dani Rodrik (2024) propõem uma abordagem inovadora para reavaliar as relações público-privadas, com uma taxonomia baseada em análises de casos

globais que visa orientar os formuladores de políticas públicas no uso de condicionantes. Eles argumentam que os governos podem cocriar mercados junto ao setor privado, promovendo inovações e estabelecendo cadeias de valor sustentáveis que priorizem o bem comum, em contraposição a sistemas clientelistas. Essa abordagem exige a reestruturação de instrumentos como contratos, parcerias público-privadas, incentivos fiscais e políticas regulamentadoras, para moldar e criar mercados de maneira estratégica, alinhando interesses públicos e privados.

Essa visão sobre a redefinição de contratos públicos é aprofundada em trabalhos recentes de Mazzucato (2023), nos quais as condicionantes são apresentadas como ferramentas fundamentais para alinhar políticas industriais e de inovação com objetivos de equidade e sustentabilidade. Os principais pontos incluem: (1) ampliar o acesso de cidadãos e empresas a bens, serviços ou tecnologias; (2) direcionar investimentos para metas sociais ou ambientais; (3) implementar acordos de compartilhamento de lucros entre os parceiros; e (4) incentivar o reinvestimento dos lucros empresariais em atividades produtivas. A proposta sublinha que redesenhar os contratos públicos pode reformular a direção da economia, garantindo que os benefícios das políticas públicas sejam mais amplamente distribuídos. Exemplos apresentados mostram como essas condicionalidades podem facilitar o acesso a produtos e serviços oriundos de P&D financiados pelo Estado, bem como simplificar o acesso a patentes, proporcionando ao setor privado maior clareza para investir com confiança, sem onerar o processo com burocracias desnecessárias.

1.2.1 O Estado Leão e a Indústria Verde: Caminhos para a Transição Energética

A inovação verde, segundo Mazzucato (2015), não deve ser entendida apenas como um conjunto de tecnologias ou produtos sustentáveis, mas como um processo transformacional que reestrutura a cadeia produtiva em resposta à crise ambiental. Isso requer que o Estado atue para reorganizar as prioridades econômicas, impulsionar a transição para uma economia de baixo carbono e viabilizar a transição. A autora argumenta que o desenvolvimento de tecnologias renováveis, como a energia eólica e solar, apesar de décadas de investimentos e subsídios, ainda enfrenta barreiras para alcançar a maturidade de mercado. Essas dificuldades estão associadas a uma infraestrutura energética global ainda amplamente baseada em combustíveis fósseis e ao desafio de superar os custos irrecuperáveis das tecnologias tradicionais (Mazzucato, 2023).

Nesse sentido, a teoria das transições aborda o processo de mudança tecnológica que transcende o incremental para adentrar no radical ou até mesmo disruptivo, envolvendo produtos e processos. Essa abordagem interdisciplinar, que inclui sociologia, história e engenharia, busca antecipar e gerenciar futuras transições. Ela identifica elementos essenciais, como a criação de nichos de mercado dispostos a pagar por características inovadoras, o aprendizado gradual que reduz custos, o crescimento em formato de curva S da difusão tecnológica, e o desenvolvimento de clusters tecnológicos que levam ao domínio e eventual "lock-in" da nova tecnologia. Esses fatores são fundamentais para o sucesso de transições tecnológicas no mercado energético, como no caso do hidrogênio verde (Gross, 2008 *apud* Greenacre, 2012).

A teoria das transições, quando aplicada ao contexto das políticas de inovação, conecta-se diretamente à visão de Mariana Mazzucato (2015) sobre o papel do Estado na condução de mudanças estruturais no mercado. Ao identificar a necessidade de criar nichos de mercado, por exemplo, o hidrogênio verde dentro das energias renováveis, para permitir o desenvolvimento e a competitividade de novas tecnologias, Mazzucato argumenta que o Estado deve moldar mercados e oferecer suporte de longo prazo para sustentar inovações que enfrentam altos riscos e incertezas. O processo de transição tecnológica requer um planejamento estratégico que não se limita à redução de custos, mas envolve a criação de um ambiente econômico que favoreça a adoção e a difusão de inovações disruptivas. O apoio governamental em forma de "capital paciente", que possibilita a superação das curvas de aprendizado, e o desenvolvimento de clusters tecnológicos são elementos fundamentais para garantir que essas inovações não apenas sobrevivam às fases iniciais de mercado, mas se consolidem como a nova norma em uma economia mais sustentável e voltada ao futuro. (Bergek *et al.*, 2008.)

Para Mazzucato (2015), a transição energética deve ser vista como uma mudança de paradigma, em que a inovação verde é capaz de desafiar o *status quo*, reduzindo a dependência de fontes energéticas tradicionais e promovendo soluções ambientalmente sustentáveis (Foxon, 2003). Nesse contexto, ela resgata o conceito de eco-inovação², que vai além da mera criação de novos produtos, abrangendo uma reestruturação completa dos processos produtivos para minimizar os impactos ambientais e fomentar uma economia circular. Esse conceito está alinhado com a visão de Frondel *et al.* (2008), que enfatizam a necessidade de a inovação

² Eco-inovação é um conceito mais extensivamente trabalhado e esquematizado por Foxon (2006, 2007 e 2008) e Anderson *et al.*, 2001. Ver nas referências bibliográficas

ambiental ocorrer em múltiplos níveis, desde mudanças em produtos e processos até a reformulação de modelos de negócios e práticas organizacionais (Foxon *et al.*, 2010).

Já no que tange o setor de energia, Bergek e Jacobsson (2004) destacam que três fatores são importantes de serem levados em consideração: (I) a estrutura já existente do sistema de energia é grande e conseqüentemente; (II) os atores envolvidos no sistema atual de energia podem dificultar e bloquear a difusão de energia verde; além disso (III) criar mercados é extremamente difícil, nesse caso da energia verde, talvez o produto não traga um benefício direto ao comprador e, por isso, tecnologias em formação são difíceis de receber financiamento. Nesse contexto, os autores propõem que, em um sistema de inovação, é necessário observar cinco fatores: (I) a criação e difusão do conhecimento, (II) a orientação da direção de busca entre usuários e fornecedores de tecnologia, (III) os suprimento de recursos, (IV) a criação de positivas externalidades econômicas e (V) a formação de mercados.

A eco-inovação, segundo Mazzucato, não deve se limitar a melhorias incrementais, mas sim incluir transformações sistêmicas que rompem com os padrões tradicionais de produção. Bessant e Tidd (2007) expandem essa ideia, discutindo o "pensamento sistêmico", que sugere que a inovação sustentável precisa ser cocriada com a participação de múltiplos atores — incluindo governo, empresas e consumidores — para desencadear mudanças estruturais. Isso requer políticas públicas integradas que abordem tanto a oferta quanto a demanda por inovações tecnológicas, criando incentivos para a adoção de tecnologias limpas, como subsídios para energias renováveis e regulamentações que promovam a eficiência energética e a reutilização de recursos.

A transição para uma economia verde enfrenta barreiras significativas que vão além de questões tecnológicas. Edquist e Hommen (1999) argumentam que, para que a inovação alcance seu potencial máximo, é necessário um ambiente propício que favoreça o surgimento de novos atores e tecnologias. No entanto, subsídios persistentes para combustíveis fósseis e uma infraestrutura já estabelecida que privilegia fontes de energia tradicionais são grandes obstáculos. Mazzucato defende que o apoio do Estado deve ser contínuo, até que as tecnologias limpas possam competir efetivamente no mercado. Isso requer o uso do "capital paciente" — investimentos de longo prazo que permitam o amadurecimento das tecnologias verdes sem a pressão imediata por retorno financeiro.

A justiça social é um elemento central na abordagem de Mazzucato (2023) para a inovação sustentável. Ela argumenta que o Estado deve garantir que as inovações tecnológicas não se

limitem a beneficiar grandes corporações, mas que sejam acessíveis a todas as camadas da sociedade, especialmente às comunidades vulneráveis que são mais vulneráveis às mudanças climáticas. No Brasil, isso significa que as políticas públicas precisam ser estruturadas para assegurar que as tecnologias renováveis sejam acessíveis e relevantes para as populações de baixa renda. A justiça ambiental, portanto, não é apenas uma questão de eficiência econômica, mas de equidade social.

No âmbito dos sistemas de inovação, Mazzucato (2023) enfatiza que as políticas públicas devem adotar uma abordagem sistêmica, articulando diferentes atores e setores da sociedade. Carayannis e Campbell (2010) destacam que, para alcançar a inovação sustentável, é necessário envolver todos os participantes relevantes no processo de inovação, desde governo e empresas até universidades e organizações da sociedade civil. Essa articulação é particularmente importante no Brasil, onde a falta de infraestrutura adequada e a limitada integração entre os diferentes setores frequentemente impedem a difusão de tecnologias verdes.

Mazzucato (2015) também aborda a questão do "capital paciente", um conceito crucial na sua visão de como o Estado deve apoiar a inovação verde. O capital paciente refere-se a investimentos de longo prazo que permitem que novas tecnologias se desenvolvam gradualmente, sem a pressão por retornos imediatos. Ela destaca que, para que a transição energética ocorra com sucesso, é necessário que o apoio governamental persista enquanto os custos irrecuperáveis das tecnologias tradicionais continuarem a ser uma barreira para a adoção de fontes de energia mais limpas. Bancos de desenvolvimento, como o BNDES no Brasil e o Banco de Desenvolvimento Chinês, têm desempenhado papéis essenciais ao fornecer financiamento a longo prazo para projetos de tecnologia limpa.

A integração entre governança e *compliance* em práticas empresariais também é central na abordagem de Mazzucato (2023). Ela defende que as políticas públicas devem promover práticas empresariais que priorizem tanto a eficiência econômica quanto a justiça social, incorporando a sustentabilidade de forma genuína. Isso implica em adotar sistemas de governança que integrem práticas de sustentabilidade em todas as operações das empresas, desde a gestão de resíduos até o uso de recursos naturais, indo além de estratégias de marketing ou *greenwashing* – que é a prática de se utilizar de um discurso ambientalmente correto e consciente como forma de publicidade, mas que não se concretizam na prática.

A abordagem proposta por Mazzucato (2015) é complementar às teorias de outros autores, como Frondel *et al.* (2008), Bessant e Tidd (2007), e Edquist e Hommen (1999), pois traz uma

perspectiva integrativa que unifica conceitos de eco-inovação, capital paciente e justiça social. Ao adotar essa abordagem holística, as políticas públicas podem criar um ambiente mais favorável para a inovação sustentável, incentivando a cooperação entre o governo, o setor privado e a academia para promover o desenvolvimento tecnológico e a inclusão social.

Por fim, a visão de Mazzucato (2015) destaca que a transição para uma economia verde não é apenas uma questão de desenvolvimento tecnológico, mas também de transformação social e política. As políticas públicas precisam não só estimular a inovação, mas também garantir que os benefícios sejam amplamente distribuídos. A revolução industrial verde proposta por Mazzucato (2015) pode, portanto, ser entendida como um projeto de longo prazo que exige o comprometimento de diferentes setores da sociedade para reestruturar profundamente as práticas econômicas e produtivas, estabelecendo um novo paradigma sustentável e inclusivo.

Neste capítulo, discorreu-se sobre as principais teorias e abordagens que fundamentam a compreensão dos processos de inovação, desde os conceitos introdutórios de Joseph Schumpeter até as discussões contemporâneas sobre os Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), com destaque para a abordagem orientada por missões de Mariana Mazzucato (2015). As contribuições de diversos autores ilustraram a evolução do pensamento sobre inovação, destacando a importância da interação entre governo, empresas e academia na construção de um sistema de inovação eficiente e sustentável.

Ao longo das décadas, as teorias evoluíram de modelos lineares e simplistas para abordagens mais complexas e sistêmicas, que consideram fatores econômicos, sociais e ambientais. Nesse contexto, o conceito de inovação verde e o papel do Estado empreendedor, defendido por Mazzucato, tornam-se cruciais para enfrentar os desafios contemporâneos, como a transição energética e a necessidade de alinhar inovação tecnológica com sustentabilidade e equidade social.

Esse panorama teórico estabelece uma base sólida para o capítulo seguinte, no qual será analisado como esses conceitos se aplicam ao Brasil, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de inovação e ao papel estratégico do hidrogênio verde no contexto da transição energética global. A partir dessa discussão, busca-se contribuir para uma visão mais integrada e transformadora da inovação no cenário brasileiro.

2 PANORAMA DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BRASILEIRO E HIDROGÊNIO VERDE

O segundo capítulo deste trabalho tem como objetivo analisar o Sistema Brasileiro de Inovação (SBI), destacando suas principais características, desafios e potencialidades no contexto da transição energética global. Compreender o conceito de Sistema de Inovação (SI) e a inovação verde, explorados no capítulo anterior, é essencial para contextualizar as interações entre diferentes atores – governo, setor privado, universidades e sociedade civil – que colaboram no desenvolvimento de tecnologias e práticas sustentáveis, fundamentais para enfrentar os desafios climáticos e energéticos contemporâneos.

A análise do SBI parte de uma perspectiva histórica e funcional, mapeando sua evolução, suas mudanças e como a inovação no Brasil tem sido financiada por diferentes agentes, como o governo e as empresas. Serão utilizados instrumentos teóricos como o modelo de Bergek *et al.* (2008), que destaca funções essenciais ao desempenho dos sistemas de inovação, e a abordagem setorial de Foxon (2010), que permite uma análise mais focada no setor energético brasileiro. Esse recorte setorial é fundamental para compreender como o mercado do hidrogênio verde (H2V) – uma das mais promissoras tecnologias da transição energética – tem sido operacionalizado no Brasil e no mundo. Por fim, o capítulo discutirá como a transição energética tem reconfigurado o sistema internacional em torno de uma missão estratégica de descarbonização, ilustrando as oportunidades e desafios para o Brasil se posicionar como um protagonista global neste processo.

2.1 O LEÃO ADORMECIDO: DIAGNÓSTICO DO SISTEMA BRASILEIRO DE INOVAÇÃO (SBI)

Desde o estudo pioneiro de Albuquerque (1996), o Brasil é classificado como um sistema de Ciência e Tecnologia (C&T) – um Sistema de Inovação incompleto –, apresentando uma infraestrutura básica, mas que ainda enfrenta dificuldades significativas na difusão e comercialização de inovações. No período entre 1981 e 1990, os investimentos do Brasil em C&T eram modestos comparados a países como Japão, Alemanha e Estados Unidos, que investiam aproximadamente quatro vezes mais em proporção ao PIB. Um exemplo emblemático é o caso da Coreia do Sul, que no início da década de 1980 mantinha um nível de investimento semelhante ao brasileiro, mas que, em uma década, triplicou seus aportes em P&D, atingindo um patamar muito superior ao do Brasil. No contexto brasileiro, Albuquerque

(1996) ressalta que o investimento em inovação pelas empresas locais representava menos da metade da média dos países da OCDE, enquanto apenas 3,98% dos pesquisadores brasileiros trabalhavam no setor privado, refletindo a fraca integração entre o setor acadêmico e o mercado, que atualmente continua a ser uma questão para o SBI. Em comparação, economias como a chinesa adotaram estratégias de inovação orientadas por políticas estatais com missões estratégicas definidas, conforme defendido por Mazzucato (2013), o que permitiu maior dinamismo e capacidade de comercialização de inovações.

Casos internacionais como os da Alemanha, Israel e China demonstram estratégias bem-sucedidas de promoção da inovação, cada qual com características adaptadas às suas realidades. A Alemanha destaca-se pela forte conexão entre academia e indústria, com investimentos expressivos em P&D (US\$ 319 bilhões em 2012) e programas como o *Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)*³, que apoiam pequenas e médias empresas (PMEs), criando um ambiente favorável à colaboração tecnológica. Israel, por sua vez, exemplifica o impacto de um modelo público-privado⁴ eficiente, destinando 3,93% do PIB a P&D e promovendo a integração entre universidades e o setor produtivo, colocando-se entre os maiores investidores em inovação. A China, com sua política estatal agressiva⁵ e visão de longo prazo, impulsionou o crescimento anual de 12% a 20% nos investimentos em P&D nas últimas décadas, alcançando 2% do PIB em 2014, apoiada por zonas econômicas especiais e missões estratégicas.

Comparativamente, o Brasil enfrenta desafios estruturais que limitam sua competitividade, como burocracia, baixa segurança jurídica e investimentos privados reduzidos em P&D. Enquanto esses países apostam em estratégias coordenadas e incentivos robustos, o Brasil ainda carece de um modelo integrado que promova a colaboração entre academia, setor privado e governo, além de incentivar uma visão estratégica de longo prazo para consolidar seu Sistema de Inovação (Fiates *et al.*, 2017).

No Brasil, o início dos anos 2000 foi marcado pela implementação de uma série de marcos legais que buscaram fortalecer o ambiente de inovação e fomentar a interação entre

³Programa Central de Inovação para Pequenas e Médias Empresas, desenvolvido pelo Ministério Federal de Economia e Energia da Alemanha – que visa incentivar a inovação no setor privado

⁴ Programas como o *Generic Pre-Competitive Technology R&D* (MAGNET ou מגנט em hebraico) e o *Israel National Smart Grid Program* (ISRAGRID) são exemplos de iniciativas que fomentam a integração entre universidades e empresas em Israel.

⁵ Programas como o Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Alta Tecnologia da China ou Programa 863.

ciência e mercado. Medidas como a Lei da Informática (1991), a Lei da Inovação Tecnológica (2004) e a Lei do Bem (2005) visaram estimular investimentos privados em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e facilitar a transferência de tecnologia entre instituições de pesquisa e o setor produtivo. Entre esses marcos, destaca-se a Lei da Inovação, que estabeleceu a criação de Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) nas Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs), com o objetivo de proteger a propriedade intelectual e promover a aplicação prática do conhecimento científico no mercado.

Apesar desses avanços, as políticas de incentivo à inovação enfrentam desafios expressivos no Brasil. Problemas como a complexidade regulatória, a insegurança jurídica e a baixa articulação entre os atores do sistema de inovação restringem a adesão aos incentivos fiscais oferecidos, beneficiando predominantemente grandes empresas. Pequenas e Médias empresas (PMEs), que são essenciais para a inovação disruptiva, enfrentam barreiras ainda maiores (Soares *et al.*, 2016). Em 2018, o Decreto nº 9.283 revisou a Lei da Inovação e estabeleceu o Novo Marco Legal da Inovação⁶ (UFES, 2022). No entanto, a fragmentação persistente entre academia e setor privado ainda limita a aplicação prática do conhecimento gerado nas ICTs, dificultando o alinhamento entre expectativas acadêmicas e demandas do mercado.

Outro entrave significativo é a preferência das empresas brasileiras por inovação em processos, em detrimento da criação de novos produtos. Conforme a Pesquisa de Inovação (PINTEC) do IBGE (2017), essa tendência contrasta com a de economias mais desenvolvidas, onde a inovação de produtos é incentivada por um ambiente favorável ao investimento em tecnologias emergentes e de alto impacto.

Apesar dos avanços legais, a inovação no Brasil ainda depende fortemente das ações governamentais. Historicamente, o governo tem sido o principal impulsionador da inovação, enquanto outros atores – como empresas, universidades e sociedade civil – mantêm interações esporádicas e pouco articuladas. O Estado brasileiro não apenas lidera iniciativas, mas também cria estruturas, políticas e incentivos para estimular a colaboração no ecossistema de inovação, como será explorado nas seções seguintes.

Essa dependência contrasta com a perspectiva teórica de Bergek *et al.* (2008), que destaca a necessidade de uma colaboração ativa e bem estruturada entre todos os atores de um

⁶ Ampliando os incentivos e flexibilizando processos de P&D para facilitar parcerias e descentralizar a gestão de projetos

sistema de inovação (SI). No Brasil, o governo tem assumido a maior parte das funções críticas identificadas por Bergek *et al.* (2008), como legitimação, formação de mercado, desenvolvimento de conhecimento e mobilização de recursos. Contudo, limitações estruturais e recursos escassos comprometem a eficácia dessas ações, especialmente diante do baixo engajamento de outros setores estratégicos.

Um exemplo é a função de legitimação, essencial para consolidar práticas inovadoras, que tem sido parcialmente cumprida por políticas como a Estratégia Nacional de Inovação (ENI), implementada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). A ENI busca fortalecer o ecossistema de inovação ao promover a coesão entre as instituições científicas e tecnológicas (ICTs) e o setor empresarial, posicionando a inovação como um pilar do desenvolvimento econômico e social (MCTI, 2023).

A formação de mercado, outra função crítica, é apoiada pela Finep e pelo BNDES. A Finep desempenha um papel importante ao direcionar investimentos para áreas estratégicas, como defesa, saúde e sustentabilidade, facilitando o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias por meio de subvenções econômicas e financiamentos para empresas e ICTs (Finep, 2019; 2022). Da mesma forma, o BNDES contribui para a formação de mercados ao subsidiar inovações tecnológicas e apoiar a transformação digital da indústria e o desenvolvimento de tecnologias limpas, o que incentiva o crescimento de setores estratégicos e a diversificação do mercado brasileiro (BNDES, 2020; 2023).

Além disso, a Finep e o MCTI desempenham papéis fundamentais no SBI, cada um utilizando ferramentas e políticas distintas para cumprir suas funções estratégicas. Ambos atuam direcionando a pesquisa para áreas consideradas prioritárias para o desenvolvimento do país, como saúde, agronegócio e energia, enquanto também fomentam o desenvolvimento do conhecimento e a formação de capital humano. O MCTI contribui com iniciativas específicas, como programas de capacitação e educação técnica e científica, enquanto a Finep se destaca pelo financiamento de pesquisas estratégicas. Nesse contexto, vale ressaltar a importância do CNPq, CAPES e do Ministério da Educação (MEC), que complementa essas ações ao estabelecer diretrizes nacionais para a educação, desde a básica até a superior, alinhando o desenvolvimento educacional às demandas de inovação e competitividade nacional, mesmo que haja uma grande disparidade educacional entre as diferentes regiões do país, e entre as escolas públicas e privadas (MCTI, 2023; Finep, 2022, 2019)

A mobilização de recursos no Sistema Brasileiro de Inovação (SBI) é sustentada por políticas como a Lei do Bem e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), além de iniciativas do BNDES, que oferece linhas de crédito subsidiado para pesquisa e desenvolvimento em áreas estratégicas, como biotecnologia e energia sustentável, buscando ampliar a participação do setor privado nos investimentos em inovação. O BNDES também fortalece a inovação sustentável por meio do Fundo Clima, que direciona investimentos para tecnologias limpas promovendo o desenvolvimento e resiliência climática (BNDES, 2023; MCTI, 2023; Finep, 2022).

No entanto, o financiamento de pesquisa e desenvolvimento (P&D) no Brasil é insuficiente para consolidar um sistema de inovação competitivo. Com apenas 1,27% do PIB destinado a P&D – menos da metade proveniente do setor privado –, o país permanece atrás de economias líderes, como Coreia do Sul e Estados Unidos, que investem mais de 2% do PIB, majoritariamente com recursos privados (OCDE, 2023). Essa baixa participação empresarial destaca a dependência de incentivos governamentais, enfraquecendo a competitividade e o potencial do SBI.

Complementando essas ações, a Finep⁷ e o BNDES desempenham papéis estratégicos na criação de condições para inovação de longo prazo. Contudo, a taxa de inovação das empresas brasileiras foi de apenas 33,6% no triênio 2015-2017, apontando para a necessidade de uma atuação mais articulada e consistente entre esses atores, sobretudo, em áreas como energia e eletricidade, onde a inovação é crucial (De Negri *et al.*, 2022; PINTEC).

O BNDES e a Finep desempenham um papel central no estímulo à experimentação empresarial ao financiar *startups* e empresas emergentes interessadas em desenvolver e testar novas tecnologias (BNDES, 2023). Esses esforços são fundamentais para incentivar o desenvolvimento de modelos de negócio e tecnologias inovadoras no Brasil, embora o impacto ainda seja limitado pela concentração de recursos e infraestrutura inadequada em diversas regiões (De Negri *et al.*, 2022).

Paralelamente, o governo busca fortalecer os ecossistemas regionais de inovação por meio de iniciativas como a Pesquisa de Inovação Semestral (PINTEC), que mapeia atividades inovadoras e identifica obstáculos ao desenvolvimento econômico baseado na inovação (IBGE,

⁷ A FINEP, por exemplo, ajustou sua atuação para atender às prioridades nacionais, direcionando recursos para o combate à COVID-19 e para tecnologias de saúde emergentes em 2022, como no desenvolvimento de anticorpos monoclonais

2017). Projetos como o Conecta *Startup* Brasil e a criação de parques tecnológicos, como o Parque Tecnológico de Tanguá, têm como objetivo fomentar redes de colaboração e criar economias de escala que impulsionem o desenvolvimento regional e nacional (MCTI, 2023). Contudo, desafios estruturais, como a concentração de investimentos no Sudeste e a precariedade de infraestrutura em outras regiões, limitam o alcance dessas iniciativas (Bambini *et al.*, 2016; Caldato *et al.*, 2018).

Indicadores internacionais, como o *Global Innovation Index* (GII), evidenciam essas limitações. Em 2015, o Brasil ocupava a 70ª posição no índice, ficando atrás de outros países emergentes, e, apesar de uma recuperação para a 66ª posição entre 2018 e 2019, os avanços não foram suficientes para superar gargalos estruturais (WIPO, 2016, 2018 e 2019). Iniciativas como a ampliação da Lei do Bem, que beneficiou mais de 3.400 empresas e resultou em um aporte total de R\$ 36 bilhões em 2022, demonstram esforços pontuais, mas insuficientes para promover mudanças sistêmicas (MCTI, 2023). Pequenas e médias empresas (PMEs), essenciais para a inovação disruptiva, ainda enfrentam barreiras significativas, como a complexidade regulatória e o acesso limitado a financiamento (Soares *et al.*, 2016)

A pandemia de Covid-19 agravou as fragilidades do SBI, com cortes de recursos para P&D, interrupções em projetos estratégicos e dificuldades na importação de insumos essenciais. A restrição de recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) comprometeu o desenvolvimento de tecnologias críticas e evidenciou a necessidade de financiamento sustentável para o setor. Embora o Brasil tenha alcançado a 57ª posição no GII em 2021, graças à retomada econômica e à proibição do contingenciamento do FNDCT, problemas estruturais – como burocracia, um sistema tributário complexo e baixa abertura comercial – continuam a restringir a competitividade do país (OCDE, 2023; IPEA, 2023).

Apesar de iniciativas recentes para estimular inovação em startups e PMEs, a concentração de recursos no Sudeste e a infraestrutura precária reduziram o impacto dessas políticas em outras regiões. Embora tenha alcançado a 54ª posição no GII em 2024, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos para consolidar uma política de inovação equilibrada e inclusiva, capaz de transformar o Sistema Brasileiro de Inovação em um motor de desenvolvimento sustentável e competitivo no cenário global (GII, 2024).

Essa necessidade de maior equilíbrio também é evidente ao se analisar o papel das universidades e institutos de pesquisa, que têm sido os principais motores da inovação no Brasil. O desenvolvimento histórico peculiar do sistema de inovação brasileiro o diferencia de países

líderes na capacidade inovadora, como Estados Unidos, Alemanha e Japão, onde as relações entre universidades, empresas e sociedade passaram por uma maturação mais consistente⁸. No caso brasileiro, o atraso na criação de instituições científicas e tecnológicas comprometeu a integração entre ciência e tecnologia como motor de crescimento econômico e social (Suzigan e Albuquerque, 2011).

Além disso, as universidades brasileiras historicamente priorizaram a pesquisa acadêmica em detrimento da inovação voltada ao setor produtivo, refletindo um modelo linear de inovação predominante durante grande parte do século XX. Nesse modelo, o conhecimento científico seguia um fluxo unidirecional – da pesquisa básica ao produto final – sem uma interação efetiva entre academia, indústria e outros atores do sistema de inovação. Embora órgãos como CAPES e CNPq tenham sido criados na década de 1950 para estruturar a política de ciência e tecnologia, o foco permaneceu em atender à demanda acadêmica, melhorando indicadores de produção científica, mas negligenciando a aplicação prática desse conhecimento no desenvolvimento tecnológico (De Negri e Cavalcante, 2013; Rapini *et al*, 2016).

Um dos principais entraves ao avanço do Sistema Brasileiro de Inovação (SBI) é a escassez de mão de obra qualificada em áreas estratégicas, como engenharia e ciências aplicadas. Apesar do aumento no número de universidades e programas de pós-graduação, a formação técnica ainda não atende às demandas do mercado, agravando a dificuldade de absorção de novas tecnologias pelas empresas. Esse problema é intensificado pela fuga de cérebros, com profissionais migrando para países que oferecem melhores condições para pesquisa e desenvolvimento (OCDE, 2023; Rapini *et al*, 2016).

Embora algumas universidades brasileiras tenham avançado na relação com o setor produtivo, esses progressos são desiguais e refletem as disparidades regionais. A UNICAMP, por exemplo, destaca-se por iniciativas como incubadoras e *hackathons*, além de programas voltados à inovação, que incentivam a criação de "empresas-filhas" e a aplicação de novas tecnologias. Programas como o Inventores UNICAMP e o Inova UNICAMP exemplificam esforços bem-sucedidos para estreitar os vínculos entre academia e indústria (Bambini *et al.*, 2016). Entretanto, tais interações têm maior sucesso em regiões como o Sudeste, onde a

⁸ Isso por que a primeira universidade brasileira foi fundada em 1808 com a chegada da coroa portuguesa ao Rio de Janeiro, quase 200 anos depois de universidades como *Harvard*, nos EUA. Além disso, a difusão de instituições de ensino e universidades pelo Brasil ocorreu em levas e a menos de 100 anos (Suzigan e Albuquerque, 2011).

proximidade de parques industriais e a maior disponibilidade de recursos criam um ambiente mais favorável à inovação.

A concentração de recursos no Sudeste, no entanto, agrava as desigualdades regionais no sistema de inovação. De acordo com Cataldo *et al.* (2018), 44,9% das Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs) estão localizadas nessa região, enquanto o Norte e o Centro-Oeste abrigam apenas 10,1% cada. Essa centralização limita o impacto das políticas públicas nas regiões menos desenvolvidas, restringindo o acesso à pesquisa e desenvolvimento e perpetuando as disparidades estruturais do país (Rapini *et al.*, 2016; Bambini *et al.*, 2016)

Comparativamente, países como Alemanha e Estados Unidos possuem uma distribuição equilibrada de infraestrutura de P&D, o que facilita a integração de regiões periféricas ao sistema de inovação nacional. Enquanto no Brasil, a dependência de grandes centros acadêmicos e industriais no Sudeste compromete a construção de um sistema de inovação nacional coeso e inclusivo. Esse cenário é agravado pela dificuldade de reter talentos e pela limitada integração entre academia e mercado. Enquanto países como Alemanha e Israel implementam políticas para atrair e reter profissionais qualificados, iniciativas brasileiras, como as bolsas do CNPq, enfrentam restrições. Por exemplo, um estudo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) aponta que 75% dos pesquisadores brasileiros têm dificuldades na importação de insumos necessários para pesquisa, prejudicando áreas estratégicas como biotecnologia e nanotecnologia (IPEA, 2023).

Apesar de avanços na infraestrutura científica, o Brasil ainda enfrenta desafios estruturais que limitam a transformação da produção acadêmica em inovação tecnológica. Embora contribua com mais de 2,5% da produção mundial de artigos científicos, sua participação em patentes internacionais é de apenas 0,1% (De Negri e Cavalcante, 2013). Casos como Embrapa, ITA e Inpe demonstram que, quando há uma definição clara das demandas do setor produtivo, a colaboração entre academia e indústria pode ser eficaz. Contudo, a priorização da produção científica em detrimento do desenvolvimento tecnológico perpetua uma baixa integração entre universidades e empresas, dificultando o alcance da inovação no Brasil (Bambini *et al.*, 2016).

A fragilidade dessa relação é agravada por entraves estruturais no sistema de inovação brasileiro, como a alta rotatividade nos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) e a rigidez institucional das Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs), que comprometem a continuidade e a efetividade das parcerias. A ausência de capacitação técnica nos NITs e a

resistência cultural de universidades quanto à proteção e comercialização da propriedade intelectual dificultam a transferência tecnológica, criando um paradoxo entre a priorização de publicações acadêmicas e a necessidade de transformar conhecimento em inovações comerciais (Paranhos *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2016).

Além disso, o déficit de infraestrutura de pesquisa integrada impede a disseminação do conhecimento além dos grandes centros acadêmicos. Esse cenário reflete o desenvolvimento tardio de instituições de pesquisa no Brasil e a histórica dificuldade de aplicar a ciência ao setor produtivo (Suzigan e Albuquerque, 2011). A interação limitada entre academia, empresas e governo restringe o potencial de setores estratégicos como saúde, mineração, energia e agricultura, que poderiam impulsionar o desenvolvimento regional se houvesse maior alinhamento entre os atores do sistema de inovação (Junior *et al.*, 2016).

Essa desconexão também reflete a ausência de políticas estruturadas que promovam a colaboração de longo prazo entre academia e setor privado. A falta de programas de treinamento e articulação política dificulta a criação de negócios de alto impacto, perpetuando uma lacuna crítica no Sistema Brasileiro de Inovação (SBI). Para superar esses entraves, é indispensável que políticas públicas priorizem o estímulo a *startups*, incentivem o desenvolvimento de tecnologias emergentes e promovam exportações. Sem uma integração mais efetiva entre academia, setor privado e governo, o Brasil continuará enfrentando baixos índices de inovação e desenvolvimento regional (Junior *et al.*, 2016).

No contexto teórico do ecossistema empreendedor, explanado no capítulo anterior, o Brasil apresenta um desempenho superior à média dos países do BRICS em aspectos como percepção de oportunidade e aceitação de risco⁹, mas enfrenta gargalos substanciais em áreas como absorção de tecnologia e educação superior. Embora o país pontue bem em variáveis institucionais, como mercado de capitais e *networking*, limitações na formação de capital humano e na infraestrutura tecnológica restringem o desenvolvimento de startups e inovações disruptivas (Junior *et al.*, 2016).

O sistema tributário brasileiro, caracterizado por sua complexidade e regressividade, é frequentemente apontado como uma barreira ao empreendedorismo inovador. Startups e pequenas empresas enfrentam custos desproporcionais para operar no país, desestimulando iniciativas de alto impacto (Negrini *et al.*, 2022). Além disso, a baixa abertura comercial

⁹ Lembrando que há diferença entre aversão ao risco e a incerteza.

restringe o acesso a tecnologias de ponta e reduz a competitividade das empresas brasileiras, que permanecem dependentes de commodities e com baixa participação de produtos de alta tecnologia nas exportações. Esse cenário contrasta com países como Alemanha e China, onde a abertura comercial fomenta o desenvolvimento tecnológico e a eficiência produtiva (IPEA, 2023).

Um dos principais desafios enfrentados pelo sistema de inovação brasileiro é a ausência de uma cultura robusta de investimento em empreendimentos de alto risco, refletida na baixa participação do capital de risco no financiamento de novos negócios. Enquanto países que detêm essa cultura como Israel e Estados Unidos destinam até 0,3% de seu PIB para *venture capital*, no Brasil essa proporção é inferior a 0,01% (Negrini *et al.*, 2022). Essa discrepância limita significativamente o apoio a *startups* e empresas de base tecnológica, setores reconhecidos por sua capacidade de introduzir inovações disruptivas e criar novos mercados (Junior *et al.*, 2016). Como aponta Mazzucato (2013), o capital de risco, na prática, não busca risco, mas retorno elevado em curto prazo. No entanto, no Brasil, a aversão cultural ao risco é ainda mais acentuada, possivelmente em função do ambiente de mercado, afetando diretamente os investimentos em inovação. Essa característica se traduz em um foco maior em inovações incrementais, voltadas para melhorias de processos, em detrimento de inovações disruptivas que criam novos produtos e transformam mercados. Essa resistência cultural à incerteza mina o potencial do sistema de inovação brasileiro, dificultando o fortalecimento de seu Sistema de Inovação (SI) e impedindo o país de se posicionar de forma mais competitiva na economia global (Negrini *et al.*, 2022; Hofstede, 2024).

A dinâmica do SBI, idealmente, requer que o setor empresarial assuma funções estratégicas que incluem o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias, a difusão de inovações por meio de redes regionais e a experimentação de novos modelos de negócios. Além disso, as empresas deveriam fomentar clusters industriais e tecnológicos, gerando *spillovers* que impulsionariam o desenvolvimento econômico regional (Junior *et al.*, 2016). No entanto, no contexto brasileiro, essas funções são exercidas de forma limitada e fragmentada, com o governo arcando com a maior parte dos investimentos em P&D para suprir lacunas deixadas pelo setor privado. Essa dependência excessiva de incentivos governamentais compromete tanto a autossuficiência quanto a eficácia do sistema de inovação.

Portanto, os desafios estruturais do Sistema Brasileiro de Inovação (SBI) são evidenciados por dados do *Global Innovation Index (2024)*, que destacam tanto avanços quanto entraves persistentes. Apesar de melhorias no ambiente de mercado, barreiras como a complexidade tributária, a baixa abertura comercial e o financiamento insuficiente de P&D pelo setor privado continuam a restringir o potencial inovador do país (Negrini *et al.*, 2022; IPEA, 2023). Além disso, a concentração regional de infraestrutura científica e tecnológica no Sudeste aprofunda desigualdades estruturais, limitando o impacto de políticas públicas em regiões menos desenvolvidas (Cataldo *et al.*, 2018). Sem um mercado de *venture capital* consolidado e políticas descentralizadoras de investimentos, o potencial transformador do SBI permanece subaproveitado.

Sob uma perspectiva teórica, o Sistema Brasileiro de Inovação (SBI) apresenta falhas significativas de integração funcional entre governo, academia e setor privado. Essas lacunas estão profundamente enraizadas em fatores culturais e históricos que perpetuam uma visão linear e fragmentada da inovação, dificultando a consolidação de um sistema dinâmico e competitivo. Esse cenário reforça a necessidade de uma abordagem mais sistêmica e orientada por missões estratégicas, capaz de alinhar interesses, otimizar recursos e impulsionar a inovação de maneira efetiva no país.

Além disso, o Brasil enfrenta o agravamento de um processo contínuo de desindustrialização desde o final do século XX, caracterizado pela redução da participação da indústria no PIB. Esse fenômeno reflete uma estrutura econômica deformada, carente de incentivos robustos para revitalizar a produção industrial, e evidencia a urgência de fortalecer o SBI como um mecanismo essencial para reverter esse quadro. As lições de Mariana Mazzucato (2015; 2021; 2023), que defende o papel proativo do Estado na moldagem de mercados e na promoção da inovação, são especialmente relevantes neste momento. A indústria verde surge como uma solução viável para o Brasil enfrentar seus desafios estruturais, corrigir as falhas do sistema de inovação e projetar-se como uma liderança climática internacional. Essa estratégia aproveitaria as vantagens das capacidades nacionais de inovação enquanto promove uma transição sustentável e competitiva no cenário global.

Apesar de avanços em políticas voltadas à inovação, a estrutura do Brasil ainda se aproxima mais de um Sistema de Ciência e Tecnologia (SCT) do que de um verdadeiro Sistema de Inovação. Para superar essas limitações, é imprescindível ampliar os investimentos

governamentais e descentralizar a infraestrutura científica, promovendo maior equidade regional. Uma solução estratégica seria desburocratizar o sistema tributário, introduzindo deduções fiscais para doações filantrópicas a universidades, incentivando uma cultura de filantropia acadêmica, como ocorre amplamente nos Estados Unidos. Além disso, os incentivos fiscais devem ser reestruturados com condicionantes que estimulem investimentos privados em P&D e práticas de ESG, conforme argumenta Mazzucato (2023). Por fim, o fortalecimento das parcerias entre estados, municípios e o setor privado como agentes estratégicos da inovação local será fundamental para a criação de um ecossistema competitivo e sustentável, posicionando o Brasil como um protagonista global em inovação e transição climática.

A academia, por sua vez, deve fortalecer sua colaboração com o setor privado, alinhando sua produção ao mercado e às demandas sociais. O setor empresarial, por outro lado, precisa adotar uma postura mais proativa, aumentando significativamente sua participação em P&D para contribuir para um ecossistema mais equilibrado e sustentável.

Ademais, a formulação de um novo Marco Legal que redefina o SBI, estabeleça diretrizes claras para a interação entre os atores e sistematize a inovação em níveis regionais seria essencial. Tal marco poderia incluir incentivos para equilibrar investimentos em infraestrutura científica, promover centros de excelência em pesquisa e incentivar a produção tecnológica em outras localidades. Esse modelo de desenvolvimento mais equitativo não apenas reforçaria o papel do Brasil no cenário global, mas também permitiria que a inovação fosse pensada de forma estratégica e integrada, garantindo impactos mais amplos no desenvolvimento socioeconômico do país.

2.2 O GATO E O LEÃO: ENERGIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

O Brasil, apesar de suas vantagens naturais e matriz energética predominantemente renovável, enfrenta desafios estruturais que limitam seu potencial de liderança na transição energética global. Com uma matriz composta majoritariamente por fontes como hidrelétrica, eólica e solar, o país possui um modelo promissor para a descarbonização econômica. No entanto, barreiras como a ausência de infraestrutura adequada, a falta de redes inteligentes e sistemas de armazenamento, além da fragmentação de políticas públicas, comprometem o aproveitamento pleno dessas fontes e dificultam a criação de um ecossistema inovador que integre mercado e sistema de inovação.

O hidrogênio verde (H₂V) desponta como uma tecnologia central para alcançar a neutralidade de carbono em setores intensivos, como transporte e siderurgia. Ainda assim, a implementação de projetos relacionados ao H₂V enfrenta desafios significativos, como o uso insustentável da terra e o desmatamento na Amazônia, que fragilizam a credibilidade do Brasil no cenário climático global. Entre 2019 e 2020, as emissões de gases de efeito estufa decorrentes do uso da terra aumentaram 24%, evidenciando uma desconexão entre os compromissos internacionais do Acordo de Paris e as ações domésticas efetivas. Embora metas ambiciosas tenham sido anunciadas, como a redução de 50% das emissões até 2030 e a neutralidade climática até 2050, sua realização ainda é limitada pela ausência de estratégias integradas e pela dependência de financiamento externo.

Durante a COP29, realizada em Baku, o Brasil buscou fortalecer sua posição ao apresentar cenários integrados baseados no modelo *BLUES*, comprometendo-se com uma redução de emissões entre 59% e 67% até 2035. Essa proposta foi bem recebida, ao priorizar soluções de custo mínimo e oferecer uma visão mais pragmática sobre o papel do país na transição energética global. Contudo, alcançar tais metas exige melhorias significativas na governança ambiental e energética, além de uma maior articulação entre o uso sustentável da terra, energia renovável e inovação tecnológica.

Nesse contexto, a transição energética não é apenas uma necessidade ambiental, mas também um reflexo de mudanças nas dinâmicas geopolíticas globais. O Brasil, com sua abundância de recursos naturais e matriz energética renovável, apresenta-se como um ator estratégico nesse cenário de reorganização das cadeias e processos globais. No entanto, a maximização dessas vantagens depende de esforços para modernizar a infraestrutura nacional, superar as deficiências do Sistema Nacional de Inovação (SNI) e alinhar-se às dinâmicas da ordem multipolar emergente.

A infraestrutura, por sua vez, é fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável, englobando áreas como saneamento, transporte, energia e telecomunicações. Conforme aponta a Confederação Nacional da Indústria, a eficiência e qualidade nessas áreas são determinantes para atrair investimentos externos, melhorar o ambiente empresarial e viabilizar a inovação tecnológica. No Brasil, as deficiências em infraestrutura não apenas limitam a competitividade internacional e o potencial industrial, mas também intensificam desigualdades regionais, dificultando o crescimento econômico e social equilibrado (Ricupero, 2017).

Nesse contexto, o sistema energético brasileiro, que engloba geração, transmissão e distribuição, destaca-se por sua matriz predominantemente renovável, sendo uma das mais limpas do mundo. Mais de 60% da eletricidade gerada no país provém de fontes hidrelétricas, complementadas por térmicas, eólicas e solares (Amaral *et al.*, 2012). Essa estrutura depende de uma cadeia de suprimentos ampla e integrada, que vai desde a extração de insumos até a entrega final ao consumidor. O desempenho dessa cadeia, crucial para a transição energética global, está intimamente relacionado ao conceito de Capacidade Nacional de Inovação, como discutido por Porter e Sachs (2002).

De acordo com os autores, Porter e Sachs (2002), o Brasil possui uma capacidade de inovação moderada, sustentada por seus abundantes recursos naturais, um mercado interno robusto e oportunidades de crescimento típicas de mercados emergentes. No entanto, essas vantagens são contrabalançadas por desafios estruturais significativos, como a insuficiência de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), a precariedade da infraestrutura e um ambiente de mercado que carece de maior integração e eficiência (Oliveira *et al.*, 2019). Esses fatores destacam a necessidade urgente de alinhar inovação tecnológica e políticas públicas, redesenhando a cadeia energética brasileira para promover tanto a sustentabilidade quanto a competitividade do sistema energético nacional.

O mercado de energia no Brasil opera sob um modelo regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que organiza a geração e transmissão de energia por meio de leilões e concessões. Essa regulação visa conectar usinas em áreas remotas aos centros de consumo nas regiões urbanas, com concessionárias regionais responsáveis pela distribuição. Contudo, cada etapa dessa cadeia enfrenta desafios específicos que impactam a eficiência e inovação no setor (Pompermayer *et al.*, 2011).

Um dos principais desafios para a cadeia de suprimentos de energia é a dependência de tecnologia importada, especialmente para componentes críticos de energias renováveis e infraestrutura de transmissão. Essa dependência aumenta os custos e vulnerabilidades do setor, dada a burocracia alfandegária e os prazos elevados de importação (Amaral, 2012). Além disso, revela uma lacuna na capacidade produtiva interna, limitando o desenvolvimento de tecnologias locais e complexificando o avanço inovador do setor. Assim, essa dependência de importações para tecnologias essenciais, limita a capacidade do Brasil de responder rapidamente a crises energéticas e dificulta a formação de uma cadeia de valor própria, inviabilizando que o Brasil possa se tornar um *player* relevante da transição energética já que não produz as suas

tecnologias e depende de importações, que no país são demasiadamente burocráticas e onerosas. Mazzucato, compreende a transição energética como uma mudança de paradigma que desafia o *status quo*, todavia, esta falta de infraestrutura e as limitações do Sistema de Inovação incompleto do Brasil, se tornam um impasse para que o país consiga estar na vanguarda tecnológica e, portanto, da transição energética.

Como vimos anteriormente, o financiamento também é um gargalo. O mercado de *venture capital* no Brasil é incipiente. A falta de capital para inovação compromete o desenvolvimento de pequenas e médias empresas, limitando a criação de soluções tecnológicas que poderiam fortalecer a cadeia de suprimentos e fomentar a inovação no setor de energias renováveis (Pompermayer *et al.*, 2011).

A relação entre a cadeia de suprimentos e o sistema de inovação brasileiro é essencial, mas fragmentada. Apesar de a regulamentação exigir investimentos em P&D pelas concessionárias, a desconexão entre academia e indústria reduz o impacto desses investimentos na eficiência e diversificação da matriz energética. Autores como De Negri (2023) apontam que essa regulamentação “estrangula” a inovação, pois a abordagem estatal excessivamente prescritiva limita a autonomia das empresas na definição de estratégias de inovação (Pompermayer *et al.*, 2011). Essa desconexão entre os agentes da hélice tríplice perpetua a dependência de tecnologias externas e limita a autonomia do setor energético, enquanto a falta de políticas industriais específicas para inovação dificulta a criação de um ecossistema que favoreça o desenvolvimento de tecnologias nacionais (Jacobsson e Bergek, 2004).

O Brasil enfrenta desafios complexos na gestão das cadeias de suprimentos e na modernização da infraestrutura. Apesar de a matriz energética ser majoritariamente renovável, com hidrelétricas complementadas por termelétricas, energia eólica e solar, a concentração de produção e a fragmentação da logística aumentam os custos e diminuem a resiliência do sistema (IRENA, 2020). A transição para um sistema mais resiliente e eficiente requer um aumento significativo da capacidade renovável e da eficiência energética até 2030 (IRENA, 2024; Amaral *et al.*, 2012).

Conforme a Tabela 1, estas trajetórias ilustram como diferentes países têm explorado suas vantagens competitivas e superado desafios estruturais para avançar na transição energética. O Brasil, com sua matriz predominantemente renovável, pode se beneficiar de uma abordagem integrada que una inovação tecnológica e políticas públicas estratégicas

Tabela 1. Estratégias de transição energética em economias globais

País	Estratégias Principais	Destaques
Alemanha	Programa <i>Energiewende</i> : descarbonização e substituição de fósseis e nucleares por renováveis. Fórmula "20-20-20".	Sucesso na redução de emissões e expansão de renováveis. Redes inteligentes (<i>smart grids</i>) e cooperativas energéticas.
China	Políticas industriais centralizadas e incentivos ao P&D. Desenvolvimento de Zonas Econômicas Especiais e metas para hidrogênio verde.	Líder global na produção de painéis solares e turbinas eólicas. Forte exportação de tecnologias de energia renovável.
EAU	<i>Energy Strategy 2050</i> : Diversificação econômica, ênfase em solar e nuclear. Investimentos intensivos no hidrogênio verde para exportação.	Capacidade de atrair capital internacional e liderar exportação de hidrogênio na região do Golfo Pérsico.
Estados Unidos	Combinação de investimento público e privado. Programas estratégicos como o <i>Inflation Reduction Act (IRA)</i> e destaque no financiamento de <i>venture capital</i> .	Liderança em tecnologias como baterias de alta capacidade e captura de carbono. Ambiente dinâmico para startups.

Fonte: elaborado pelo autor com base em Irena (2023; 2024) e Caldeira *et al.* (2020)

Assim, o hidrogênio verde se apresenta como uma inovação disruptiva com imenso potencial para descarbonizar setores industriais e energéticos globais. Para o Brasil, essa tecnologia representa uma oportunidade única de não apenas reduzir as emissões internas de carbono, mas também se consolidar como um fornecedor estratégico para outras nações. Esse potencial coloca o país em uma posição privilegiada para influenciar o próximo ciclo histórico, aproveitando suas vantagens naturais e articulando políticas de inovação e parcerias estratégicas. Ao superar desafios internos e se integrar de forma competitiva às novas cadeias globais de valor, o Brasil pode assumir a liderança na transição energética e contribuir para moldar a ordem multipolar emergente.

2.3 O HIDROGÊNIO VERDE: A ENERGIA QUE ACORDARÁ O LEÃO

A transição energética global coloca o hidrogênio verde (H2V) como uma das principais tecnologias para a descarbonização, ocupando um espaço central tanto em pautas internacionais quanto no discurso do governo brasileiro sob a liderança de Luiz Inácio Lula da Silva (Brasil, 2024). Produzido por meio da eletrólise, um processo químico que separa moléculas de água (H₂O) em hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂) utilizando eletricidade de fontes renováveis, como solar ou eólica, o H2V é considerado uma solução limpa e sustentável para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

No Brasil, a estruturação de projetos de hidrogênio verde requer financiamento em diversas etapas, desde a pesquisa e desenvolvimento até a produção em escala comercial. Nas fases iniciais, predominam recursos públicos devido aos altos riscos associados a tecnologias emergentes. Como discutido anteriormente, as fases iniciais da inovação apresentam maior risco e incerteza, por isso Mazzucato (2013) compreende que é a fase que é mais complexo de se conseguir financiamento privado – já que o capital de risco não gosta de risco – e é chamada por autores como Aquino *et al.* (2024) de “vale da morte” das inovações, por isso é essencial que o governo nesta fase financie e assume o risco das inovações. E quando se fala em energia verde, esse fenômeno se agrava já que algumas tecnologias verdes podem não trazer benefícios direto ao consumidor (Bergek e Jacobsson, 2004).

No Brasil, essa fase crítica das tecnologias emergentes é superado por mecanismos como os fundos de P&D da ANEEL e modelos de *blended finance*, que combinam recursos públicos e privados. Gradualmente, esses projetos tornam-se mais atrativos para o setor privado, utilizando instrumentos como debêntures incentivadas e linhas de crédito voltadas para inovação e sustentabilidade, como o Fundo Clima (Aquino *et al.*, 2024).

Além disso, o H2V emerge como uma solução estratégica para descarbonizar setores economicamente relevantes e intensivos em emissões de carbono no Brasil, como siderurgia, energia elétrica, indústria química, extração de petróleo e gás, e agricultura. Esses segmentos, responsáveis por uma significativa parcela das emissões de CO₂ do país, possuem grande potencial para incorporar o hidrogênio verde como parte de sua matriz energética. Na siderurgia, por exemplo, que empregava mais de 85 mil pessoas em 2022, o H2V viabiliza a transição para processos de baixa emissão, aproveitando a estrutura concentrada em grandes empresas para a implementação em larga escala (DATA MPE Brasil, 2023).

A aplicação do hidrogênio verde (H2V) na indústria química destaca-se como um avanço estratégico, especialmente na produção de insumos como amônia e metanol. Esse setor, que em 2020 representou a terceira maior participação no PIB industrial brasileiro (ABIMQUI, 2022), possui alta relevância econômica e social. O uso do H2V não apenas reduz a pegada de carbono, mas também oferece uma solução sustentável para indústrias que demandam alta densidade energética e onde a eletrificação direta é menos viável, como o transporte pesado. Com a inserção do H2V em cadeias produtivas críticas, o Brasil tem a oportunidade de consolidar sua posição como líder na transição energética global, promovendo simultaneamente a sustentabilidade e a competitividade internacional (Aquino *et al.*, 2024).

Internacionalmente, países como Alemanha e Japão lideram iniciativas que substituem o hidrogênio cinza ou azul pelo verde, promovendo a transição energética em setores estratégicos e alinhando-se a regulamentações ambientais mais rigorosas. No Brasil, essa tendência apresenta uma oportunidade para integração em cadeias globais de valor ambientalmente sustentáveis, por meio da criação de hubs de produção voltados tanto para o mercado interno quanto para exportação (IRENA, 2024). No entanto, a competitividade do hidrogênio verde enfrenta desafios significativos devido aos seus altos custos de produção em comparação com métodos baseados em combustíveis fósseis.

Atualmente, a produção global de hidrogênio é responsável por 1.100 a 1.300 megatoneladas de CO₂ por ano, refletindo a dependência predominante de processos fósseis. Para que o H2V alcance competitividade, é fundamental expandir a capacidade de eletrólise e reduzir os custos dos eletrolisadores. Apesar desses desafios, avanços recentes têm reduzido os custos da geração de eletricidade renovável, especialmente em fontes solar e eólica, o que torna o cenário mais favorável para a produção de H2V em grande escala (IRENA, 2024c e 2024b).

A adoção do hidrogênio verde também está inserida em um contexto de inovação e desenvolvimento tecnológico. Embora sua produção utilize energia limpa, a fabricação dos equipamentos necessários, como eletrolisadores e sistemas de armazenamento, ainda depende de processos industriais baseados em combustíveis fósseis. Essa contradição inicial ilustra o que Schumpeter (1992) define como "ondas de inovação", em que tecnologias emergentes enfrentam desafios de sustentabilidade antes de amadurecerem. A primeira geração de

tecnologias para o H2V pode ser considerada uma "fase verde lodo"¹⁰, marcada por resquícios de impactos ambientais, mas com potencial de evolução para soluções mais limpas e eficientes.

Abandonar o desenvolvimento do hidrogênio verde devido a essas limitações seria um erro estratégico, pois a inovação desempenha um papel central na superação de gargalos técnicos e no avanço da sustentabilidade. O Brasil, com sua abundância de recursos renováveis e capacidade científica – apesar da dificuldade de difusão da inovação tecnológica - tem a oportunidade de liderar a transição energética global ao investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação em toda a cadeia produtiva do H2V. Isso inclui desde a fabricação de equipamentos até sua aplicação em larga escala, promovendo a competitividade e consolidando o país como referência na economia verde.

No entanto, como uma tecnologia emergente, o hidrogênio verde também apresenta riscos que precisam ser cuidadosamente mapeados. Do ponto de vista tecnológico, desafios como falhas técnicas, custos inesperados e dificuldades de escalabilidade são frequentes em projetos inovadores. A mitigação desses riscos exige garantias de performance dos fornecedores e demonstrações claras de viabilidade dentro de padrões aceitáveis, assim como mostra a Tabela 2 (Aquino *et al.*, 2024).

Tabela 2. Principais riscos e estratégias de mitigação nos projetos de hidrogênio verde

Categoria de Risco	Descrição	Estratégias de Mitigação
Aceitação de mercado	Demanda e aceitação pelo hidrogênio de baixo carbono podem variar.	Contratos de longo prazo com cláusulas "take-or-pay" para garantir estabilidade econômica.
Construção de instalações	Riscos de atrasos, custos adicionais e problemas de qualidade em equipamentos críticos.	Contratos EPC "turn-key lump sum", seguros de performance e cláusulas de responsabilização.
Disponibilidade de água	Escassez ou qualidade inadequada podem comprometer operações.	Estudos de mananciais, contratos de fornecimento de longo prazo e unidades de dessalinização estratégicas.

¹⁰ Denominação criada pelo autor para a fase inicial da produção de hidrogênio verde, a qual na cadeia produtiva como um todo ainda há resquícios de fontes não renováveis como petróleo.

Fornecimento de energia elétrica	Dependência de energia elétrica segura para a produção de hidrogênio verde.	Verticalização da produção, contratos de compra de energia limpa e análises de risco do fornecedor.
Licenciamento ambiental	Necessidade de conformidade regulatória para evitar embargos.	Estudos de impacto ambiental e obtenção de aprovações necessárias.
Questões fundiárias e logísticas	Problemas com terrenos, desapropriações e transporte de hidrogênio.	Análises cuidadosas e alocação clara de responsabilidades entre os participantes.
Recursos financeiros e humanos	Insuficiência de recursos e grandes investimentos necessários.	Análises criteriosas de perfis de risco e fontes de financiamento.
Riscos regulatórios e políticos	Incertezas legislativas e políticas públicas adversas.	Regulamentação de créditos de carbono e mecanismos de certificação.

Fonte: elaborado pelo autor baseado em (Aquino *et al.*, 2024)

Ao reconhecer e mitigar os riscos associados, o hidrogênio verde pode ser transformado em um diferencial competitivo para o Brasil, fortalecendo sua posição no mercado internacional e alinhando o país aos desafios globais da transição energética. Um dos principais desafios está relacionado ao alto custo de produção, especialmente pela necessidade de eletrolisadores eficientes e acessíveis em larga escala. Atualmente, essa tecnologia é cara e ainda não está amplamente disseminada. Paralelamente, a produção de hidrogênio verde depende de fontes de energia renovável, como solar e eólica, que, embora representem cerca de 20% da matriz energética brasileira, ainda precisam ser ampliadas para atender às demandas futuras. Massificar essas tecnologias para torná-las competitivas com alternativas mais poluentes exigirá esforços significativos do Brasil, incluindo investimentos em infraestrutura e inovação tecnológica (Kemp e Foxon, 2007).

Outro ponto crítico envolve a aceitação do mercado e as adaptações institucionais necessárias para atender às novas demandas tecnológicas. Como discutido no primeiro capítulo, o modelo "encadeado" destaca a importância dos *feedbacks* dos consumidores no processo de adoção de tecnologias emergentes. A transição para um "*design* dominante" no mercado de hidrogênio verde dependerá de ajustes regulatórios, suporte financeiro e uma coordenação eficaz entre os setores público e privado, o que amplifica as incertezas (Kemp e Foxon, 2007). Nesse cenário, os principais atores financeiros, como BNDES, BNB, BRDE, FINEP, Banco Mundial e Banco Interamericano de Desenvolvimento, desempenham um papel estratégico ao

alinhar recursos com políticas nacionais e internacionais de transição energética, conforme detalhado na tabela a seguir:

Tabela 3. Principais financiadores e programas de apoio ao hidrogênio verde no Brasil

Financiador	Programas e Incentivos	Condições de Financiamento	Foco Regional/Setorial
BNDES	Fundo Clima, BNDES Finem – Meio Ambiente, BNDES Mais Inovação	Taxas de 2,2% a 8% a.a., prazos de até 20 anos, carência de até 96 meses, financiamento de até 100% dos itens.	Nacional, foco em ecoeficiência e inovação.
Banco do Nordeste (BNB)	FNE Verde e FNE Inovação	Taxas ajustadas pela Resolução CMN nº 5.013/2022, prazos de até 15 anos, carência de até cinco anos.	Nordeste brasileiro.
BRDE	Programa Mais Energia Sustentável	Condições ajustadas a riscos de crédito e especificidades do projeto.	Região Sul.
Banco Mundial (BM)	Infraestrutura de H2V e integração de energia limpa	Exemplo: US\$ 90 milhões para o hub de Pecém, prazos variados, contrapartida local exigida.	Internacional (Brasil, hub de Pecém).
BID (Banco Interamericano)	Infraestrutura, estudos de viabilidade, cooperações técnicas	Exemplo: US\$ 400 milhões ao Chile; prazos de reembolso até 24 anos, carência de 6,5 anos, taxas baseadas na SOFR.	Internacional (América Latina).
FINEP	Chamada Pública de Combustíveis do Futuro	Prazos de até 16 anos, carência de até quatro anos, participação de até 95% do valor total.	Nacional, foco em inovação tecnológica.

Fonte: elaborado pelo autor com base em Ministério de Minas e Energia (2023b) e Aquino *et al.* (2024)

Atores internacionais desempenham um papel estratégico no desenvolvimento da cadeia de hidrogênio verde no Brasil, oferecendo financiamento, suporte técnico e integração em cadeias globais de valor. Programas como o *H2Global* e o *H2Uppp*, da Alemanha, promovem exportação e parcerias público-privadas, enquanto o Banco Mundial apoia *hubs* como o de Pecém, fortalecendo a posição do Brasil no cenário internacional (Aquino *et al.*, 2024). O marco regulatório, incluindo o Projeto de Lei nº 5.816/2023, complementa esses esforços ao oferecer incentivos fiscais, criar zonas de processamento de exportação e equalizar custos de produção,

atraindo investimentos para a indústria emergente de hidrogênio no país (Aquino *et al.*, 2024; Brasil, 2023).

A criação de *hubs* regionais, como os de Pecém e Suape, destaca a capacidade do Brasil em alinhar produção e distribuição de hidrogênio verde (H2V), consolidando-se como um potencial líder nesse mercado emergente. No entanto, altos custos, limitações logísticas e a necessidade de políticas públicas mais eficazes ainda representam barreiras significativas que devem ser superadas. Países competidores do Brasil, como Austrália e Chile já aproveitam sua abundância de recursos renováveis para liderar exportações de hidrogênio e derivados, enquanto consumidores globais como Japão e Alemanha investem intensivamente em infraestrutura e parcerias estratégicas para assegurar seus suprimentos (Aquino *et al.*, 2024).

No contexto brasileiro, a produção de H2V é especialmente promissora em regiões como o Nordeste, onde a alta disponibilidade de recursos solares e eólicos oferece uma vantagem estratégica para redução de custos. Entretanto, essa potencialidade só será plenamente explorada com investimentos robustos em infraestrutura logística e a implementação de incentivos regulatórios eficazes. Modelos como os adotados pela Austrália e Chile, que combinam recursos renováveis abundantes com infraestrutura portuária eficiente para atender à demanda asiática, servem de referência. Adaptações semelhantes poderiam impulsionar a competitividade global do Brasil e posicionar o país como um *player* estratégico no mercado internacional de hidrogênio verde (BNDES, 2024).

Nesse sentido, o transporte de hidrogênio, facilitado pela conversão em amônia, oferece ao Brasil oportunidades de integrar-se às cadeias globais. Apesar disso, o país enfrenta desafios para competir com líderes globais em exportação e tecnologia, como eletrolisadores e células a combustível, desenvolvidos por países como Alemanha e Japão. Para o Brasil, parcerias estratégicas e a complementação entre recursos locais e tecnologias estrangeiras são essenciais para consolidar o hidrogênio verde como um motor de sua transição energética e diversificação econômica. O suporte coordenado entre programas nacionais, como o Fundo Clima e o BNDES, e instituições internacionais reforça a viabilidade desse mercado emergente (Ministério de Minas e Energia, 2023b; Aquino *et al.*, 2024).

O Brasil estabeleceu metas claras e um plano de ação abrangente para o desenvolvimento da economia do hidrogênio de baixa emissão de carbono. A missão central do país é acelerar a economia do hidrogênio, promovendo a competitividade doméstica e internacional, especialmente em setores de difícil abatimento de emissões. Para isso, o

Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) propõe ações organizadas em seis eixos estratégicos: visão de longo prazo para o hidrogênio, apoio financeiro para reduzir riscos iniciais, fomento à pesquisa e desenvolvimento (P&D), implementação de esquemas de certificação, cooperação internacional e fortalecimento da governança. Eixos esses que estão diretamente ligados as propostas de Mazzucato, como a visão de longo prazo orientada pela missão e a absorção do risco pelo Estado, mas que também devem levar em conta, principalmente na aplicação, as propostas e ressalvas que este trabalho traz sobre o caso brasileiro (Brasil, 2023; Mazzucato, 2013).

Entre as metas específicas destacam-se a instalação de plantas-piloto de hidrogênio em todas as regiões do Brasil até 2025, a consolidação do país como o mais competitivo produtor de hidrogênio de baixa emissão até 2030 e a criação de *hubs* de hidrogênio integrados até 2035. Essas ambições são sustentadas por políticas públicas que alinham desenvolvimento tecnológico, investimentos em infraestrutura e criação de mercados domésticos e internacionais para produtos descarbonizados. Além disso, o Brasil busca reduzir custos de produção do hidrogênio verde, atualmente impactados principalmente pelo custo da eletricidade de fontes renováveis (Brasil, 2023).

O Brasil também avança na capacitação de recursos humanos, promovendo cursos especializados para profissionais do setor. Na esfera regulatória, o governo busca remover barreiras legais e normativas que dificultem o crescimento da indústria do hidrogênio, enquanto desenvolve novos marcos regulatórios para garantir competitividade e sustentabilidade no longo prazo (Brasil, 2023). Dessa forma, o PNH2 reflete ambição brasileira em liderar a transição energética global, consolidando o ecossistema de inovação setorial focado no nicho de HSV, assim como a economia do hidrogênio como um vetor essencial para o desenvolvimento sustentável e a mitigação das mudanças climáticas (Brasil, 2023).

A previsão de crescimento do comércio global de hidrogênio verde ressalta a necessidade de uma infraestrutura de transporte e armazenamento robusta. Segundo estimativas da IRENA (2024a e 2024c), até 2050, cerca de 55% do hidrogênio comercializado internacionalmente será transportado por dutos, enquanto os 45% restantes serão exportados, principalmente na forma de amônia. Essa substância, além de ser utilizada diretamente como fertilizante e combustível para navegação, destaca-se ao lado do metanol e do aço verde como uma das principais commodities no comércio global de hidrogênio. Isso permite que países com

recursos renováveis abundantes, como Brasil e Austrália, exportem hidrogênio para regiões com alta demanda, mas capacidade limitada de produção.

No entanto, para se posicionar competitivamente nesse mercado, o Brasil precisa superar desafios significativos relacionados à infraestrutura logística e à fragmentação das políticas públicas. Atualmente, a falta de integração entre transporte, armazenamento e distribuição limita o alcance do hidrogênio verde brasileiro. A adoção de padrões internacionais de certificação, essenciais para garantir a sustentabilidade e a confiança no H2V como recurso seguro, também é um passo crucial para a competitividade global.

Inspirar-se em modelos bem-sucedidos de países como Austrália e Emirados Árabes Unidos, que combinaram planejamento logístico eficaz com desenvolvimento tecnológico, pode ajudar o Brasil a transformar seu potencial em realidade. Investir em infraestrutura específica e integrar iniciativas públicas e privadas são ações fundamentais para que o país se consolide como um *player* estratégico no comércio internacional de hidrogênio verde (IRENA, 2023).

A trajetória do hidrogênio verde envolve não apenas superar desafios tecnológicos e econômicos, mas também a construção de uma cadeia de valor robusta que conecte produção, transporte e consumo de forma integrada. Exemplos globais mostram como políticas bem estruturadas e parcerias estratégicas têm impulsionado o desenvolvimento desse mercado. Países como Alemanha, Japão e Austrália lideram o avanço do hidrogênio verde, combinando infraestrutura dedicada, incentivos governamentais e colaboração internacional (IRENA, 2024c).

Na Alemanha, a *National Hydrogen Strategy* estabelece uma abordagem abrangente para substituir o hidrogênio cinza pelo verde na indústria química, alavancando financiamentos direcionados para tecnologias de eletrolisadores. O país também fortalece sua posição por meio de acordos bilaterais de importação com nações da África e América Latina, incluindo o Brasil. Esses acordos consolidam parcerias de longo prazo e promovem uma cadeia de suprimentos colaborativa e internacionalmente integrada. Esse modelo, que combina financiamento público e privado, reforça a competitividade e a resiliência da matriz energética alemã, destacando o papel estratégico do hidrogênio verde em sua transição energética (IRENA, 2024e; 2024h).

Já o Japão busca se estabelecer como um *hub* de importação de hidrogênio, diversificando suas fontes energéticas e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Para

alcançar esses objetivos, o país investe em infraestrutura avançada de armazenamento e transporte, como tanques de hidrogênio líquido e células a combustível. Tais iniciativas são orientadas para atender às demandas de setores como o automotivo e o industrial, reforçando a mobilidade sustentável e a descarbonização de indústrias de alta emissão de carbono. Essa estratégia reflete um esforço coordenado entre governo, empresas e instituições de pesquisa, ampliando as aplicações do hidrogênio verde e consolidando sua relevância no futuro energético do país (IRENA, 2023e).

Apesar de seu vasto potencial em energias renováveis, o Brasil enfrenta uma dependência significativa de importações para suprir partes da cadeia de valor do hidrogênio verde, assim como para a toda a produção científica do país. Insumos como amônia e metanol, além de tecnologias avançadas como eletrolisadores, são majoritariamente adquiridos de fornecedores internacionais. A tabela abaixo ilustra as principais dependências e seus impactos estratégicos:

Tabela 4. Importações brasileiras relacionadas ao hidrogênio verde

Item Importado	Valor Importado (US\$ milhões)	Principais Fornecedores
Amônia	230,6	Trinidad e Tobago (97%)
Metanol	-	Chile e Trinidad e Tobago (70% juntos)
Eletrolisadores	24,8	Itália, Países Baixos e Portugal

Fonte: elaborado pelo autor baseado em Irena (2016; 2024a).

Essa dependência limita a autonomia tecnológica do Brasil e representa um desafio estratégico para o desenvolvimento do hidrogênio verde no país. Além disso, a dependência de importações de outros países, revela lacunas nas fases de produção do H2V no Brasil, que podem ser sanadas através de investimentos em P&D e em institutos de pesquisa, além de comercialização dessas inovações, através de encomenda e transferência tecnológica, assim como será necessário criar incentivar a criação de empresas e startups para todos os processos na cadeia de produção do hidrogênio verde. Dessa forma, construindo uma cadeia de suprimentos local integrada para eletrolisadores, o Brasil não só teria mais autonomia, mas também reduziria custos, aumentaria a segurança de abastecimento e promoveria inovações adaptadas às necessidades específicas do mercado brasileiro (IRENA,2023).

No cenário internacional, o Brasil tem participado de iniciativas como a *Global Gateway* da União Europeia, que fomenta parcerias de pesquisa e investimento em hidrogênio verde, em colaboração com outros países da América Latina e da África. Essas parcerias são estratégicas, pois permitem que o Brasil acesse financiamento e expertise tecnológica, além de se inserir em redes globais de inovação e de comercialização de hidrogênio verde. No entanto, para que esses esforços sejam eficazes, é essencial que o Brasil desenvolva políticas públicas de longo prazo, que integrem esses investimentos internacionais com uma estratégia nacional robusta e direcionada, diferentemente do que tem sido executado, que são políticas que pensão no curto prazo entre uma eleição e outra e não em um projeto de país, e dessa forma inviabilizam a produção de inovações políticas mais estratégicas e orientadas pela missão como o Plano Quinquenal da China ou a Formula 20-20-20 da Alemanha (IRENA,2023; Caldeira, 2020).

O fortalecimento da cadeia de suprimentos interna para o hidrogênio verde exige incentivos específicos para que pequenas e médias empresas possam participar ativamente na produção de componentes e serviços essenciais. No entanto, a ausência de um mercado de venture capital consolidado e a complexidade no acesso a incentivos fiscais dificultam o surgimento de startups inovadoras nesse setor. Essa barreira limita a criação de soluções tecnológicas nacionais e aumenta a dependência externa. Nesse sentido, a promoção de um ecossistema de inovação integrado, que conecte governo, academia e setor privado, é indispensável para reduzir essa vulnerabilidade e consolidar o Brasil como líder global na transição energética (IRENA, 2023).

Além disso, o Brasil precisa investir na modernização de sua infraestrutura de transporte e armazenamento de energias renováveis para aumentar sua competitividade no mercado global. Atualmente, a fragmentação das políticas públicas e as deficiências logísticas representam entraves significativos para a expansão do hidrogênio verde. Para superar essas limitações, o país pode se inspirar em modelos bem-sucedidos adotados por países como Austrália e Emirados Árabes Unidos, que integraram planejamento logístico eficiente a iniciativas tecnológicas, transformando potencial em realidade no mercado global (IRENA, 2023).

Outro ponto crucial para o avanço do hidrogênio verde é a regulamentação global e a integração comercial. Organizações como a OMC e a IRENA têm defendido normas multilaterais para certificação e rastreabilidade, elementos fundamentais para aumentar a confiança dos investidores e garantir a sustentabilidade ambiental do produto. Apesar de seu

grande potencial de exportação, o Brasil enfrenta desafios competitivos devido à ausência de padrões regulatórios claros. Essa lacuna limita o acesso a financiamentos e dificulta a inserção do país nas cadeias globais de valor. Como solução, o Brasil poderia adotar as normas internacionais existentes desde as fases iniciais de seus projetos, enquanto busca influenciar os fóruns globais para estabelecer liderança técnico-científica nas diretrizes globais de hidrogênio verde.

Na América Latina, a diversificação da matriz energética tem sido impulsionada por mais de 80 bilhões de dólares em investimentos em energias renováveis na última década, com avanços expressivos em tecnologias eólica e solar em países como Brasil, Chile e México (IRENA, 2016). Esse movimento reflete a necessidade regional de segurança energética e descarbonização, dadas a alta dependência de hidrocarbonetos e as pressões crescentes para reduzir emissões de carbono. O Brasil, como maior economia da América Latina, possui uma capacidade instalada de 123 GW, aproximadamente o dobro da capacidade do México. No entanto, sua matriz energética ainda inclui cerca de 20% de fontes fósseis, como óleo combustível, gás natural e carvão. Além disso, a predominância histórica de hidrelétricas enfrenta desafios significativos, com secas extremas e restrições ambientais que reduziram a geração de energia de reservatórios de 80% entre 2004 e 2012 para 66% em 2014 (IRENA, 2016).

Além disso, o hidrogênio verde complementa a diversificação das energias renováveis podendo transformar o Brasil em um líder regional e global, desde que atraia investimentos e fomenta parcerias estratégicas. Com uma matriz energética singular e vastos recursos naturais, o Brasil ocupa uma posição central no desenvolvimento da cadeia de valor de hidrogênio verde na região, com potencial de se consolidar como exportador de referência (IRENA, 2016).

Com isso em mente, a pesquisa de viabilidade econômica do MME (2024b) sobre a produção de hidrogênio verde no Brasil destaca importantes oportunidades estratégicas para o país no contexto da transição energética global. O estudo revelou que a competitividade crescente do H2V, aliada à abundância de recursos naturais e à experiência do Brasil em energias renováveis, coloca o país em posição de destaque para atender à demanda por energia limpa. Especificamente, o setor de mobilidade urbana pode se beneficiar significativamente¹¹ (Ministério de Minas e Energia, 2024b). As recomendações incluem políticas públicas para

¹¹ A análise da substituição de uma frota de ônibus em Fortaleza demonstrou que a adoção de células a combustível seria economicamente viável com preços do H2V abaixo de US\$ 6,25/kg, enquanto os custos projetados para produção no hub de Pecém são inferiores a US\$ 1,79/kg

redução de custos de produção do H2V, desenvolvimento tecnológico, estímulo a mercados internos e mecanismos de precificação de externalidades, como o mercado de carbono. Incentivos à absorção de derivados do H2V, como a e-gasolina, no mercado interno, também foram destacados como essenciais para fortalecer a competitividade do país no cenário global de transição energética (Ministério de Minas e Energia, 2024b).

Esses fatores impulsionaram a diversificação da matriz elétrica do Brasil, incluindo o desenvolvimento de gás natural e fontes renováveis não hidrelétricas. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), lançado em 2002, foi um marco inicial para a promoção de energias como biomassa, eólica e pequenas centrais hidrelétricas. Posteriormente, em 2008, o sistema de incentivos foi substituído por leilões de contratos de compra de energia (PPAs), que aceleraram significativamente o desenvolvimento da energia eólica no Brasil.

Atualmente, o Brasil conta com uma série de projetos em andamento que abrangem desde hubs industriais até iniciativas-piloto, voltados para o fortalecimento da produção de H2V e de seus derivados. A tabela 5, a seguir, apresenta um panorama detalhado desses projetos, destacando suas capacidades de produção, investimentos previstos e localização:

Tabela 5. Projetos de hidrogênio verde no Brasil

Projeto/Localização	Capacidade de Produção	Investimento	Início Previsto
Hub de Produção - Complexo do Pecém (Fortescue)	180 mil toneladas/ano de H2V	US\$ 3,5 bilhões	2027
Planta de Fertilizantes - Minas Gerais (Atlas Agro)	530 mil toneladas/ano de amônia verde	R\$ 4,3 bilhões	Não especificado
<i>Green Energy Park</i> - Piauí	2,8 milhões de toneladas/ano de H2V; 15 milhões de toneladas de amônia	US\$ 200 bilhões ao longo de 10 anos	Não especificado
<i>European Energy</i> - Complexo de Suape	E-metanol (capacidade não especificada)	Não especificado	Não especificado
<i>Fuella</i> – Porto do Açu	amônia verde (capacidade não especificada)	Não especificado	Não especificado
Petrobras – Rio Grande do Norte	2 MW de geração de H2V	Não especificado	Não especificado

Eletrobras Furnas – Goiás e Minas Gerais	Estudos focados em armazenamento e inserção no Sistema Interligado Nacional	Não especificado	Não especificado
Shell, USP e Toyota – Mobilidade Sustentável	Produção de H2V a partir de etanol (capacidade não especificada)	Não especificado	Não especificado

Fonte: elaborado pelo autor baseado em Chiappini (2023)

Eventos climáticos extremos, como a seca histórica de 2014-2015, reforçaram a urgência da diversificação da matriz energética e o papel crucial da geração distribuída para integrar fontes renováveis de pequeno porte à rede de distribuição. Além disso, o programa Luz para Todos destacou a aplicação de sistemas fotovoltaicos como solução de custo competitivo para eletrificação em comunidades isoladas na região amazônica.

Além disso, o Brasil tem buscado maximizar os benefícios socioeconômicos da expansão das energias renováveis por meio de políticas industriais e exigências de conteúdo local. Essa estratégia tem fomentado cadeias de valor nacionais, particularmente no setor eólico. O financiamento por meio do BNDES também está condicionado ao cumprimento de requisitos de conteúdo local, reforçando a industrialização do setor de renováveis. Indo de encontro com o desenvolvido por Mazzucato (2023), é importante que nos contratos hajam condicionantes, assim como formas de monitoramento e avaliação da aplicação delas, para que os ganhos possam ser redistribuídos para toda a sociedade, como discutido anteriormente.

O Brasil estabelece metas no Plano Decenal de Expansão de Energia e na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), destacando-se o objetivo de alcançar 45,2% da oferta primária de energia de fontes renováveis até 2024 e expandir a geração de energias não hídricas para 23% até 2030.

Os marcos legais mais recentes¹² consolidam uma base estratégica para o desenvolvimento do H2V, integrando incentivos fiscais, certificação de sustentabilidade e regulamentação voltada à competitividade internacional. Esses instrumentos refletem a intenção do Brasil de se alinhar às melhores práticas globais e expandir sua presença nas cadeias de valor internacionais.

Como destacado por Mazzucato (2023 e 2013), o investimento em pesquisa, desenvolvimento (P&D) e inovação é fundamental para transformar economias em períodos de

¹² A Resolução CNPE nº 4/2023, a Portaria nº 389-P/GM/MME/2023, e a Lei nº 14.948/2024.

recuperação pós-crise. O hidrogênio verde pode atuar como um catalisador para descentralizar a economia brasileira, gerando empregos qualificados e promovendo o desenvolvimento em regiões menos industrializadas. Além disso, pode consolidar a posição do Brasil como um líder em descarbonização em fóruns internacionais, como BRICS e Mercosul.

A integração entre políticas climáticas, de inovação e de hidrogênio, conforme defendida pelo Ministério de Minas e Energia (MME), é essencial para criar sinergias entre os setores público e privado. O Brasil deve investir em infraestrutura, pesquisa e parcerias internacionais para garantir competitividade e sustentabilidade no mercado de H2V, posicionando-o como um vetor energético central em uma economia global de baixo carbono (IRENA, 2024c).

Para isso, é indispensável superar barreiras regulatórias e integrar os agentes da hélice tríplice – governo, empresas e academia – em um ecossistema de inovação funcional. Incentivos ao investimento privado, programas de capacitação e exigências para que empresas ampliem gradualmente seus investimentos em P&D são medidas necessárias para alinhar a oferta tecnológica às demandas do mercado e da transição energética sustentável.

CONCLUSÃO

Este estudo analisou a sistematização da inovação no Brasil, com foco nos avanços e desafios do Sistema Brasileiro de Inovação (SBI) e sua inserção no mercado de hidrogênio verde e na transição energética. Partindo de uma revisão teórica que abordou autores clássicos e contemporâneos, como Schumpeter e Mazzucato, foram construídos os alicerces conceituais necessários para compreender a dinâmica do SBI. Em seguida, a pesquisa investigou a operacionalização do sistema, evidenciando progressos pontuais no ambiente de mercado, mas também barreiras históricas, como a interação limitada entre empresas e universidades. Por fim, o hidrogênio verde (H2V) foi analisado como um estudo de caso de eco-inovação, com destaque para o potencial do Brasil nesse mercado emergente.

Neste sentido, Mazzucato (2015) destaca que a inovação deve estar no cerne das políticas públicas, guiando o crescimento econômico e a criação de novos mercados. No contexto brasileiro, a consolidação de um mercado de hidrogênio verde (H2V) exige ações coordenadas para transformar o Sistema de Ciência e Tecnologia (SCT) em um verdadeiro Sistema de Inovação (SI). Isso requer a reestruturação da relação entre universidade e empresa, corrigindo a desconexão histórica que impede a difusão eficaz de conhecimento e tecnologia. Além disso, é fundamental que órgãos como BNDES, Finep, MCTI e SEBRAE alinhem suas iniciativas com instituições nacionais e internacionais envolvidas no desenvolvimento do H2V, como Petrobras e *Shell*, mitigando os riscos e incertezas típicos do estágio inicial da inovação. A criação de critérios de avaliação e monitoramento contínuos permitirá acompanhar o desenvolvimento do mercado e do sistema de inovação associado ao hidrogênio verde, assegurando maior eficiência e alinhamento com os objetivos estratégicos do país. Igualmente importante é a socialização dos ganhos provenientes do H2V, garantindo que os benefícios econômicos reverberem na sociedade por meio de investimentos em infraestrutura básica, preservação ambiental, saúde e outros setores essenciais (Júnior *et al.*, 2016; Soares *et al.*, 2016; De Negri, 2022; Mazzucato, 2023).

O hidrogênio verde (H2V) surge como uma oportunidade transformadora para posicionar o Brasil como referência internacional na transição energética, fortalecendo sua competitividade global ao integrar governo, empresas e academia em uma abordagem estratégica. Além de atender à crescente demanda global por soluções sustentáveis, o H2V apresenta perspectivas econômicas promissoras, incluindo a geração de empregos qualificados na construção de plantas industriais, pesquisa, desenvolvimento e manutenção de unidades produtivas. A

diversificação econômica que essa tecnologia proporciona, especialmente em setores como mobilidade urbana e exportação de combustíveis derivados, como e-metanol e e-gasolina, pode ampliar significativamente o PIB brasileiro e atrair investimentos internacionais (IRENA, 2016; 2024d).

Do ponto de vista ambiental, o hidrogênio verde destaca-se por sua contribuição na redução de emissões de gases de efeito estufa, oferecendo uma alternativa mais limpa em comparação ao hidrogênio cinza ou azul. A utilização de fontes renováveis, como solar e eólica, minimiza a pegada ecológica do processo produtivo. Contudo, desafios como o elevado consumo de água desmineralizada, o uso extensivo de terras para geração renovável e o manejo de resíduos, como a salmoura da dessalinização, requerem soluções eficazes para garantir a sustentabilidade plena do modelo. Mesmo diante dessas questões, o H2V reforça o compromisso brasileiro com a mitigação das mudanças climáticas e a transição energética global (MME, 2024d).

Além dos benefícios econômicos e ambientais, o desenvolvimento da cadeia de H2V pode impulsionar avanços sociais, especialmente em regiões menos industrializadas, como o Norte do Brasil. A criação de empregos verdes e inovadores pode mitigar desigualdades regionais e promover fluxos migratórios reversos. Para maximizar esses impactos, é essencial que políticas públicas assegurem uma transição energética justa, promovendo diálogo inclusivo entre empresas, governo e comunidades locais, além de incorporar iniciativas que fomentem diversidade, equidade e inclusão no mercado de trabalho emergente. Esses esforços são fundamentais para ampliar os benefícios sociais do H2V e reforçar seu impacto transformador na sociedade (MME, 2024a).

Este é um momento crítico para o Brasil. A transição energética vai além de uma oportunidade econômica; representa um imperativo estratégico que integra inovação, sustentabilidade e protagonismo global. Com políticas de longo prazo e investimentos estruturais, o país pode não apenas mitigar os impactos das mudanças climáticas, mas também se firmar como um pilar em uma nova ordem mundial multipolar e equilibrada. Contudo, a inação nesse contexto pode condenar o Brasil à irrelevância geopolítica, perpetuando desigualdades e comprometendo o futuro de gerações.

Conforme debatido no primeiro capítulo, a inovação é um fenômeno cultural e político, moldado pelas características de uma sociedade e pelas políticas públicas que ela adota. No Brasil, o SBI enfrenta entraves decorrentes de fatores culturais e estruturais, como a aversão ao risco nos investimentos privados, que resulta em uma aplicação de capital em *startups* inferior

a 0,01% do PIB. Essa realidade limita o surgimento de inovações disruptivas e reforça uma dependência excessiva de subsídios governamentais para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), perpetuando um modelo linear e fragmentado. Além disso, a complexidade tributária, a baixa abertura comercial e a concentração de infraestrutura tecnológica no Sudeste acentuam desigualdades regionais e restringem o alcance de políticas públicas de inovação (Cataldo *et al.*, 2018; IPEA, 2023).

Apesar dessas limitações, o Brasil possui vantagens competitivas significativas, como uma matriz energética predominantemente renovável e recursos naturais abundantes. No entanto, a transformação do atual Sistema de Ciência e Tecnologia em um Sistema de Inovação plenamente funcional exige maior integração entre governo, academia e setor privado. Essa integração é crucial para descentralizar investimentos, promover maior inclusão regional e potencializar as sinergias do ecossistema de inovação.

No cenário internacional, o hidrogênio verde destaca-se como vetor estratégico para descarbonização e reposicionamento econômico. Parcerias com países como Alemanha, Japão e China ilustram a relevância da diplomacia climática na mobilização de recursos financeiros e tecnológicos. Para maximizar essas oportunidades, o Brasil precisa alinhar suas metas nacionais de inovação com demandas globais, adotando políticas coordenadas e uma visão estratégica de longo prazo. Retomando a analogia de Mazzucato (2013), o Brasil tem o potencial de ser um "leão" na transição energética global. Contudo, alcançar essa liderança exige superar barreiras históricas e estruturar uma estratégia que integre sustentabilidade, reindustrialização, infraestrutura e inovação.

Por fim, a inserção do Brasil no mercado global de hidrogênio verde evidencia como a eco-inovação pode ser um eixo estratégico para crescimento sustentável e fortalecimento geopolítico. Para concretizar esse protagonismo, é essencial reestruturar o SBI, ampliando a integração entre atores-chave e transformando conhecimento em competitividade. Políticas públicas, como o fortalecimento dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) e o estímulo a projetos regionais em energias renováveis, são ferramentas indispensáveis nesse processo. Assim, o protagonismo brasileiro deve transcender a mera exportação de recursos, consolidando sua liderança em inovação tecnológica e sustentabilidade. Ao alinhar avanços econômicos com transformações estruturais, o Brasil pode construir um futuro mais equitativo e próspero para as próximas gerações.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **O desempenho da indústria química brasileira em 2022**. São Paulo: Abiquim, 2022. Disponível em: https://abiquim-files.s3.us-west-2.amazonaws.com/uploads/guias_estudos/o_desempenho_da_industria_quimica_bra_2022.pdf. Acesso em: 6 nov. 2024.

ALBURQUEUE, Eduardo da M. **Sistema nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis a ciência e a tecnologia**. Revista de Economia Política, v. 16, n. 3, 1996.

AMARAL, Guilherme Soares Gurgel do. **A pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico brasileiro: uma investigação da política tecnológica para o setor com base na teoria evolucionária da mudança técnica**. São Paulo, 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

ANDERSEN, M. M. **Eco-innovation indicators**: Background paper for the workshop on eco-innovation indicators. EEA, 2005.

ANDERSON, Dennis; CLARK, Christopher; FOXON, Tim; GROSS, Robert; JACOBS, Micheal. **Innovation and the environment: options and challenges for UK policy**. London: Imperial College, 2001. SBN:1 903144 01 9

AQUINO, Thereza; CASTRO, Nivalde de; MOSZKOWICZ, Maurício; CHAVES, Ana Carolina; BRANQUINHO, Adely; BRITO, Kalyne; LEAL, Luiza Masseno; BRAZ, Vinícius José; JULIÃO, Igor Barreto. **Estruturas de financiamento para projetos de hidrogênio verde e derivados**. Texto de Discussão do Setor Elétrico, n. 125. Grupo de Estudos do Setor Elétrico da UFRJ, abril de 2024. ISBN 978-65-86614-91-6.

BAMBINI, Martha D.; GIMENEZ, Ana Maria N.; BONACELLI, Maria Beatriz M. **Universidades no sistema de inovação brasileiro: a experiência da UNICAMP na promoção de uma cultura da propriedade intelectual, empreendedorismo e inovação**. Cad. Prospec., Salvador, v. 9, n. 1, p. 18-29, jan./mar. 2016

BERGEK, Anna; JACOBSSON, Staffan. **Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology**. Industrial and Corporate Change, 1998.

BERGEK, Anna; JACOBSSON, Staffan; CARLSSON, Bo; LINDMARK, Sven; RICKNE, Annika. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy**, v. 37, n. 3, p. 407-429, 2008.

BESSANT, J.; TIDD, J. **Inovação e Empreendedorismo**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BIN, Adriana; VÉLEZ, Maria Isabel; FERRO, Ana Flávia Portilho; SALLES-FILHO, Sergio Luiz Monteiro; MATTOS, Carolina. Da P&D à inovação: desafios para o setor elétrico brasileiro. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 552-564, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1294-14>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BNDES. **Avaliação do BNDES Funtec: uma análise sistêmica de efetividade**. Eduardo Pinho Pereira e Souza, Guilherme Costa Pereira, Luciana Xavier de Lemos Capanema. Revista do BNDES, n. 45, jun. 2016. Disponível em:

https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/83eed4ce-7dcc-4559-a11e-73bb2213e00c/BNDES_Efetividade_2020-2021_FINAL.pdf?MOD=AJPERES&CVID=o3xUUZs. Acesso em: 29 out. 2024.

BNDES. **Relatório Anual 2023**. Rio de Janeiro: BNDES, 2023. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/hotsites/Relatorio_Anual_2023/BNDES_RA2023.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

BRASIL. **Discurso do Presidente Lula na abertura da 79ª Assembleia Geral da ONU em Nova York**. GOV.BR, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/discursos-artigos-e-entrevistas/presidente-da-republica/presidente-da-republica-federativa-do-brasil-discursos/discurso-do-presidente-lula-na-abertura-da-79a-assembleia-geral-da-onu-em-nova-york>. Acesso em: 22 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024**. Dispõe sobre o marco regulatório para o hidrogênio no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, 2024b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em: 30 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. **Política de propriedade intelectual das instituições científicas e tecnológicas e de inovação do Brasil**: relatório FORMICT ano-base 2019. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023a. 68 p.: il. ISBN: 978-65-5471-035-0.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Plano de Trabalho Trienal 2023-2025**: Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Brasília: MME, 2023b.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME; Empresa de Pesquisa Energética, 2007. 12 v. : il.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório de Diretrizes para o Hidrogênio no Brasil. Projeto H2Brasil**. Brasília, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogênioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BRASIL. **Portaria nº 389-P/GM/MME, de 6 de junho de 2023**. Institui o comitê gestor do Programa Nacional do Hidrogênio. Diário Oficial da União, Brasília, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias/2023/portaria-n-389-p-gm-mme-2023.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BRASIL. **Resolução CNPE nº 4, de 20 de março de 2023**. Altera as diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio. Diário Oficial da União, Brasília, 2023d.

BRASIL. **Resolução CNPE nº 6, de 24 de agosto de 2022**. Estabelece complementações para as diretrizes do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Diário Oficial da União, Brasília, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2022/res_cnpe-6-2022.pdf. Acesso em: 30 nov. 2024.

BRASIL. **Resolução CNPE nº 6, de 8 de junho de 2021**: Estabelece diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Diário Oficial da União, Brasília, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/resoluescnpe6_2021.pdf. Acesso em: 30 nov. 2024.

CALDEIRA, Jorge; SEKULA, Julia Marisa; SCHABIB, Luana. **Brasil: Paraíso restaurável**. 1. ed. São Paulo: Estação Brasil, 2020. ISBN 6557330020.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. **Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems**. Springer, 2010.

CARRIÓN-FLORES, C. E.; INNES, R. Environmental innovation and environmental performance. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 59, n. 1, p. 27-42, 2010.

CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (CEBRI). **Transição energética e oportunidades de cooperação no BRICS**. Brasília, 2023c. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/pubpreliminar/210225_transicao_e_energetica_e_oportunidades_de_cooperacao_no_brics.pdf. Acesso em: 30 nov. 2024.

CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (CEBRI). **Oportunidades de cooperação no mercado global de hidrogênio verde: Brasil e Austrália**. Rio de Janeiro, 2023d. Disponível em: https://cebri.org/media/documentos/arquivos/CEBRI_Australia_Hidrogenio_pt.pdf. Acesso em: 30 nov. 2024.

CHANG, Ha-Joon. **Chutando a escada: A estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica**. São Paulo: Editora Unesp, 2004.

CHIAPPINI, Gabriel. **Hidrogênio verde: conheça 16 projetos promissores em desenvolvimento no Brasil**. EIXOS, 2023. Disponível em: <https://eixos.com.br/hidrogenio/hidrogenio-verde-conheca-16-projetos-promissores-em-desenvolvimento-no-brasil/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

CIAFFI, Giovanna; DELEIDI, Matteo; MAZZUCATO, Mariana. **Measuring the macroeconomic responses to public investment in innovation: evidence from OECD countries**. Oxford University Press, 2024.

CORNELL University; INSEAD; WIPO. **Global Innovation Index 2016: Winning with Global Innovation**. Geneva: WIPO, 2016. Disponível em: <www.wipo.int/gii/>. Acesso em: 29 out. 2024.

CORNELL University; INSEAD; WIPO. **Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World**. Geneva: WIPO, 2017. Disponível em: <www.wipo.int/gii/>. Acesso em: 29 out. 2024.

CORNELL University; INSEAD; WIPO. **Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation**. Geneva: WIPO, 2018. Disponível em: <www.wipo.int/gii/>. Acesso em: 29 out. 2024.

CORNELL University; INSEAD; WIPO. **Global Innovation Index 2024: Unlocking the Promise of Social Entrepreneurship**. Geneva: WIPO, 2024. Disponível em: <www.wipo.int/gii/>. Acesso em: 29 out. 2024.

DE NEGRI, Fernanda. **Financiando a ciência e a infraestrutura de pesquisa em tempos de crise**. Revista USP, São Paulo, n. 135, p. 101-118, 2022.

DE NEGRI, Fernanda. **Tributação e Inovação: Uma Revisão da Literatura**. Texto para Discussão, No. 2779, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/265299>

DE NEGRI, Fernanda; CAVALCANTE, Luiz Ricardo. **Sistemas de inovação e infraestrutura de pesquisa:** considerações sobre o caso brasileiro. 2013. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6726>. Acesso em: 23 nov. 2024.

DITEIDI, Matteo; MAZZUCATO, Mariana. **Directed innovation policies and the supermultiplier:** An empirical assessment of mission-oriented policies in the US economy. *Research Policy*, 2021.

EDQUIST, Charles; HOMMEN, Leif. **Systems of innovation:** theory and policy for the demand side. *Technology In Society*, 1999, p. 63–79.

EIXOS. **Brasil e Emirados Árabes vão cooperar em hidrogênio e biocombustíveis.** Disponível em: <https://eixos.com.br/hidrogenio/brasil-e-emirados-arabes-vao-cooperar-em-hidrogenio-e-biocombustiveis/>. Publicado em: 15 nov. 2024. Acesso em: 23 nov. 2024.

EIXOS. **Cooperação Brasil-França mira minerais estratégicos e hidrogênio.** Disponível em: [https://eixos.com.br/hidrogenio/cooperacao-brasil-franca-mira-minerais-estrategicos-e-hidrogenio/#:~:text=O%20governo%20brasileiro%20assinou%20nesta,\(SAF\)%20e%20energia%20nuclear](https://eixos.com.br/hidrogenio/cooperacao-brasil-franca-mira-minerais-estrategicos-e-hidrogenio/#:~:text=O%20governo%20brasileiro%20assinou%20nesta,(SAF)%20e%20energia%20nuclear). Publicado em: 11 out. 2023. Acesso em: 23 nov. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Brazil Country Deep Dive - MICEE.** Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-684/FINAL%20summary%20Brazil%20Country%20Deep%20Dive%20-%20MICEE.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

FIATES, Gabriela Gonçalves Silveira; MARTINS, Cristina; PICCININI, Ana Carolina Girardi; CORAL, Eliza. Sistema de Inovação Brasileiro, Desafios, Estratégias, Atores: um Benchmarking a partir de Sistemas Internacionais de Inovação. *RACEF – Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace*, v. 8, n. 3, p. 16-33, 2017.

Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). **Estratégia de longo prazo e Plano de Negócios – ELPPN 2023.** Rio de Janeiro, dezembro de 2022. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/acesso-a-informacao/Transparencia_P_Contas/2023/23_01_2023_CARTLHA_ELPPN_2023.pdf. Acesso em: 29 nov. 2024.

Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). **Relatório de Resultados do FNDCT 2019.** Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/FNDCT/08_06_2020_Relatorio_de_Resultados_FNDCT_2019.pdf. Acesso em: 29 nov. 2024.

Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). **Relatório de Resultados do FNDCT 2022.** Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/FNDCT/2024/17_01_2024_Relatorio_de_Resultados_do_FNDCT_2022.pdf. Acesso em: 29 nov. 2024.

FOXON, T. Bounded rationality and hierarchical complexity: Two paths from Simon to ecological and evolutionary economics. *Ecological Complexity*, v. 3, n. 4, p. 361-368, 2006.

FOXON, T. J.; PEARSON, P. J. G. Towards improved policy processes for promoting innovation in renewable electricity technologies in the UK. *Energy Policy*, v. 35, n. 3, p. 1539-1550, 2007.

FOXON, T. J.; PEARSON, P. **Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies**: some features of a sustainable innovation policy regime. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 1, Supplement 1, p. S148-S161, 2008.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. **Structural crises of adjustment**. Technical Change and Economic Theory. London: Pinter, 1988.

FRONDÉL, M.; HORBACH, J.; RENNING, K. End-of-Pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 3, p. 915-926, 2008.

GARCIA, Anilton Salles; LACERDA, Felipe; ZANOTTI, Maria Eduarda J. **Marco legal da ciência, tecnologia e inovação**: uma conscientização acerca do Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação e a importância da inovação na Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória: Diálogo Comunicação e Marketing, 2022. ISBN: 978-85-92647-67-4.

Global Innovation Index 2023. **Organização Mundial de Propriedade Intelectual, 2023**. Disponível em: https://www.wipo.int/pressroom/pt/articles/2023/article_0011.html. Acesso em: 30 nov. 2024.

GOVERNO DO BRASIL. **Declaração conjunta Brasil-Reino Unido sobre cooperação internacional em clima**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/declaracao-conjunta-brasil-reino-unido-sobre-cooperacao-internacional-em-clima>. Acesso em: 30 nov. 2024.

GOVERNO DO BRASIL. **Hidrogênio verde garante protagonismo global ao Brasil**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/setembro/2018hidrogenio-verde-garante-protagonismo-global-ao-brasil2019>. Acesso em: 30 nov. 2024.

GOVERNO DO BRASIL. **Investimento alemão poderá alavancar projetos de hidrogênio de baixo carbono no Brasil**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/investimento-alemao-podera-alavancar-projetos-de-hidrogenio-de-baixo-carbono-no-brasil/ComunicuM.Habeck.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

GRASS, Rodrigo. **A inserção do hidrogênio verde na matriz energética dos BRICS**. Boletim Petrel, v. 6, n. 2, jun. 2024. Disponível em: http://petrel.unb.br/images/Boletins/Petrel_v6_n2_jun_2024/GRASS_BolBRICS.pdf. Acesso em: 23 nov. 2024.

GREENACRE, Philip; GROSS, Robert; SPEIRS, Jamie. **Innovation Theory**: A review of the literature. Imperial College Centre for Energy Policy and Technology Working Paper, 2012.

HOFSTEDÉ, Geert; HOFSTEDÉ, Gert Jan. **The 6 dimensions model of national culture**. Disponível em: <https://geerthofstede.com/culture-geert-hofstede-gert-jan-hofstede/6d-model-of-national-culture/>. Acesso em: 4 dez. 2024.

IBGE. **Pesquisa de Inovação Semestral - PINTEC Semestral**. Brasília: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/investigacoes-experimentais/estatisticas-experimentais/35867-pesquisa-de-inovacao-semestral.html?=&t=downloads>. Acesso em: 29 out. 2024.

IBGE. **PINTEC Semestral de 2022**: Indicadores Básicos. Brasília: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/35867-pesquisa-deinovacao-semesteral.html>. Acesso em: 29 out. 2024.

IBRE FGV. **Hidrogênio verde**: Chile está entre líderes no desenvolvimento. Disponível em: <https://ibre.fgv.br/blog-da-conjuntura-economica/artigos/hidrogenio-verde-chile-esta-entre-lideres-no-desenvolvimento>. Publicado em: 9 jul. 2024. Acesso em: 23 nov. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Brazilian Scientific and Technological Performance**. In: *New Pathways for Innovation in Brazil*, 2023a.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Panorama da transição energética no Brasil**. Brasília, 2024. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2680_subs.pdf. Acesso em: 30 nov. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Transição energética e oportunidades de cooperação no BRICS**. Brasília, 2023b. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf. Acesso em: 30 nov. 2024.

IRENA. **A just and inclusive energy transition in emerging markets and developing economies**: Energy planning, financing, sustainable fuels and social dimensions. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2024j. ISBN 978-92-9260-620-6.

IRENA. **Green Hydrogen Deployment**: Status and Key Actions. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA) and CfC Green Hydrogen, 2024a. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

IRENA. **Green Hydrogen Derivatives**: Strengthening Global Trade and Cooperation. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024e. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

IRENA. **Innovation landscape brief**: Aggregators. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. ISBN 978-92-9260-114-0

IRENA. **Innovation landscape for smart electrification**: Decarbonising end-use sectors with renewable power. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2023. ISBN 978-92-9260-532-2.

IRENA. **Just Transition in Emerging Markets and Developing Economies (EMDEs)**: Ensuring an Inclusive and Equitable Energy Transition. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024h. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

IRENA. **Offshore innovation widens renewable energy options**: Opportunities, challenges and the vital role of international co-operation to spur the global energy transformation (Brief to G7 policy makers). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2018. ISBN 978-92-9260-079-2 (PDF).

IRENA. **Renewable Energy and Jobs**: Annual Review 2024. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024d. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

IRENA. **Renewable Energy Market Analysis: Latin America.** International Renewable Energy Agency (IRENA), 2016. ISBN 978-92-95111-50-9.

IRENA. **Shaping Sustainable Hydrogen Value Chains.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024c. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

IRENA; BLUERISK. **Water for hydrogen production.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; Bluerisk, 2023. ISBN 978-92-9260-526-1.

IRENA; BNDES. **Development Banks and the Hydrogen Economy: Enabling Sustainable Growth.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024f. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024. ISBN: 978-92-9260-620-6.

IRENA; COP28; COP29; GRA; MoEA; GOVERNMENT OF BRAZIL. **Delivering on the UAE Consensus: Tracking progress toward tripling renewable energy capacity and doubling energy efficiency by 2030.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, COP28 Presidency, COP29 Presidency, Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan, and Government of Brazil, 2024i. ISBN 978-92-9260-630-5.

IRENA; UAE. **Consensus 2030: Tripling Renewables and Doubling Efficiency by 2030.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024g. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

IRENA; UNIDO; IDOS. **Green Hydrogen for Industrial Development: Opportunities for Emerging and Developing Economies.** Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024b. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 29 out. 2024.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Transforming the Energy Sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. **Industrial and Corporate Change**, v. 13, n. 5, p. 815-849, 2004.

JÚNIOR, Edmundo Inácio; AUTIO, Erkko; MORINI, Cristiano; PRADO GIMENEZ, Fernando Antonio; AVANCCI DIONISIO, Eduardo. **Analysis of the Brazilian Entrepreneurial Ecosystem.** Desenvolvimento em Questão, vol. 14, núm. 37, p. 5-36, 2016. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, Brasil. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75249873002>. Acesso em: 23 nov. 2024.

KEMP, R. **Technology and the transition to environmental sustainability: the problem of technological regime shifts.** Futures, v. 26, p. 1023-1046, 1994.

KEMP, R.; FOXON, T. **Eco-innovation from an innovation dynamics perspective.** In: MEASURING ECO-INNOVATION. EU Sixth Framework Programme, 2007.

LUNDVALL, Bengt-Åke. **Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national systems of innovation.** In: The Learning Economy and the Economics of Hope. Anthem Press, 2016. p. 61-84. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1hj9zjd.8>. Acesso em: 22 out. 2024.

LUNDVALL, Bengt-Åke. **National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning.** London: Pinter Publishers, 1992.

MARTINO, Roberto; LLERANA, Patrick; BIANCHINI, Stefano. **The impact of R&D subsidies under different institutional frameworks.** Elsevier, 2019.

MAZZUCATO, Mariana; RODRIK, Dani. **Industrial Policy with Conditionalities: A taxonomy and Sample Cases**. UCL Institute for Innovation and Public Policy, 2023.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. privado**. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2015.

MESQUITA, Rafael. Research design, inference and causality in Political Science and International Relations: a didactic introduction. **Revista Política Hoje**, v. 26, n. 2, 209-229, 2017.

NASCIMENTO, Marcio L. F; ROCHA, Angela M; e ANDRADE, Eron P. **Hélice Tríplice no contexto brasileiro: a contribuição das universidades na inovação tecnológica**. Revista Tecnologia e Sociedade, 2023.

NANNINI, Guilherme. **53% até 2030: esse é o nível de redução das emissões que Marina Silva quer que o Brasil atinja**. PLANETA CAMPO, 2023. Disponível em: <https://planetacampo.canalrural.com.br/carbono-zero/53-2030-brasil-reducao-emissoes-marina-silva/>.

NELSON, R. **National Innovation Systems: A comparative analysis**. New York: Oxford University Press, 1993.

NELSON, R. The simple economics of basic research. **Journal of Political Economy**, v. 67, p. 297-306, 1959.

NEMET, G. F. Policy and innovation in low-carbon energy technologies. **Dissertation Abstracts International**, v. 68, n. 08, 2007.

OCDE. **Economic Surveys: Brazil 2023**. Paris: OECD Publishing, 2023a.

OCDE. **Innovation and Productivity in Emerging Economies: The Case of Brazil**. Paris: OECD Publishing, 2022.

OCDE. **Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption**. Paris: OECD Publishing, 2023b. DOI: 10.1787/0b55736e-en.

OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva de; NEGRO, Simona O. **Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Utrecht, Copernicus Institute of Sustainable Development, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.030>. Acesso em: 30 nov. 2024.

OPEB. **Energia verde e parcerias estratégicas: a relação Brasil-China na transição energética**. Disponível em: <https://opeb.org/2024/08/01/energia-verde-e-parcerias-estrategicas-a-relacao-brasil-china-na-transicao-energetica/>. Publicado em: 1º ago. 2024. Acesso em: 23 nov. 2024.

PEREIRA, Eduardo Pinho; PEREIRA, Guilherme Costa; CAPANEMA, Luciana Xavier de Lemos. **Relatório de Efetividade 2020/2021**. Rio de Janeiro: BNDES, 2021. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/83eed4ce-7dcc-4559-a11e-73bb2213e00c/BNDES_Efetividade_2020-2021_FINAL.pdf?MOD=AJPERES&CVID=o3xUUZs. Acesso em: 29 out. 2024.

PETERSON INSTITUTE FOR INTERNATIONAL ECONOMICS (PIIE). **The West could turn Brazil, India, and South Africa into its green hydrogen**. Disponível em: <https://www.piie.com/research/piie-charts/2023/west-could-turn-brazil-india-and-south-africa-its-green-hydrogen>. Publicado em: 5 jun. 2023. Acesso em: 23 nov. 2024.

PICCININI, Ana Carolina G.; MARTINS, Cristina; FIATES, Gabriela G. S. F.; CORAL, Eliza. **Sistema de inovação brasileiro, desafios, estratégia, atores**: Um benchmarking a partir de sistema internacional de inovação. RaceF, 2017.

POMPERMAYER, Fabiano Mezadre; DE NEGRI, Fernanda; CAVALCANTE, Luiz Ricardo (orgs.). **Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro**: uma avaliação do programa P&D regulado pela Aneel. Brasília: Ipea, 2011. 168 p. ISBN 978-85-7811-120-5.

PORTER, M.; SACHS, J. National Innovative Capacity. *In*: PORTER, M.; SCHWAB, K.; SACHS, J. (Eds.). **The Global Competitiveness Report 2001-2002**. Geneva: World Economic Forum, 2002. p. 102-118.

RAPINI, Márcia Siqueira; SUZIGAN, Wilson; FERNANDES, Ana Cristina de A.; DOMINGUES, Edson; CARVALHO, Soraia Schultz Martins; CHAVES, Catari Vilela. A contribuição das universidades e institutos de pesquisa para o sistema de inovação brasileiro: Interações de universidades e institutos de pesquisa com empresas no Brasil. **Cad. Prospec.**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 18-29, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/S.CPROSP.2016.009.003>. Acesso em: 30 nov. 2024.

RICUPERO, Rubens. **A diplomacia na construção do Brasil 1750 - 2016**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2017.

ROCZANSKI, Carla R. M. **O papel das universidades para o desenvolvimento da inovação no Brasil**. *In*: Colóquio internacional de gestão universitária CIGU 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171283/OK%20-%2020101_00528.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 nov. 2024.

SANDRIN, Paula; AMIGO, Camila; AGUIAR, Caroline Boletta de Oliveira; CAON, Isabelle Fernandes; MELLO, Maria Beatriz Peixoto; PAPAGIANNIS, Priscilla. **Ambição climática dos países BRICS**. 2. ed. Rio de Janeiro: PUC, BRICS Policy Center, 2024. (BPC Papers, v. 11, n. 4, outubro/2024). ISSN 2357-7681.

SANTO, Vagner S.; SILVA, Marcelo S.; TELES, Eduardo O. Políticas de ciência, tecnologia e inovação nos municípios brasileiros: uma análise comparativa dos atos de inovação. **Cadernos de Prospecção**, 2023.

SÁTYRO, N. G. D.; D'ALBUQUERQUE, R. W. O que é um estudo de caso e quais as suas potencialidades? **Revista Sociedade e Cultura**, 23, 2020 e55631. <https://doi.org/10.5216/sec.v23.e55631>

SCHUMPETER, J. A. **A teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucro, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. Rio de Janeiro: Nova Cultural, 1982.

SEBRAE. **Data MPE Brasil**. Recuperado em: 6 nov. 2024. Disponível em: <https://datampe.sebrae.com.br/>.

SOARES, Thiago J. C. C.; TORKOMIAN, Ana L. V.; NAGANO, Marcelo S.; MOREIRA, Frederico G. P. O sistema de inovação brasileiro: uma análise crítica e reflexões. **Interciencia**, v. 41, n. 10, 2016.

SUZIGAN, Wilson; ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta e. The underestimated role of universities for the Brazilian system of innovation. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 31, n. 1 (121), p. 3-30, jan./mar. 2011.

FOXON, T. J.; GROSS, R.; CHASE, A.; HOWES, J.; ARNALL, A.; ANDERSON, D. UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures. **Energy Policy**, v. 33, n. 16, p. 2123-2137, 2005. ISSN 0301-4215.

ULEN, Thomas S. An Evolutionary Theory of Economic Change. **The Business History Review**, v. 57, no. 4, 1983, pp. 576–78. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3114818>. Acesso em: 5 dez. 2024.

WIPO. **Policies for Development**. Geneva: WIPO, 2015. Disponível em: <https://www.wipo.int/gii/>. Acesso em: 29 out. 2024.

WORLD TRADE ORGANIZATION; INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **International trade and green hydrogen: supporting the global transition to a low-carbon economy**. Geneva: World Trade Organization, 2023. ISBN 978-92-870-7563-5.

XU, Qingrui; CHEN, Jin; XIE, Zhangshu; LIU, Jingjiang; ZHENG, Gang; WANG, Yong. Total innovation management: a novel paradigm of innovation management in the 21st century. **Journal of Technology Transfer**, v. 32, n. 1, p. 9-25, 2007.

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Heitor Cavalcante Neves do Curso de Relações Internacionais matrícula 2021.1.0043.0026-0 telefone: +55 (62) 9 9329-9232 e-mail neves.heitor.cav@gmail.com na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “O DESPERTAR DO LEÃO: A LIDERANÇA BRASILEIRA NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA A PARTIR DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO” gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 09 de dezembro de 2024.

Assinatura do(s) autor(es):



Nome completo do(s) autor(es): Heitor Cavalcante Neves

Assinatura do professor orientador:



Nome completo do professor orientador: Giovanni Hideki Chinaglia Okado