

Mapeamento estratégico de indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação em energia: Fundamentação teórica e desenho da metodologia

André Tosi Furtado¹, Sílvia Angélica Domingues de Carvalho², Daniela Scarpa Beneli³,
Bárbara Bressan Rocha⁴, Marcelo Khaled Poppe⁵

Resumo

A busca cada vez mais urgente por um modelo energético que seja ambientalmente sustentável e socialmente mais justo requer um acompanhamento constante e a reorientação das estratégias de inovação no setor energético. Dessa forma, a definição e a construção de métricas e indicadores são fundamentais para apoiar a formulação e a avaliação de políticas mais eficientes e assertivas. Contudo, essa tarefa não é simples, dadas as especificidades tecnológicas e a dinâmica de inovação dos diversos segmentos que compõem o setor energético.

Abstract

The increasingly urgent search for an energy model that is environmentally sound and socially fairer requires constant monitoring and reorientation of innovation strategies in the energy sector. In this way, the definition and construction of metrics and indicators are fundamental to support the formulation and evaluation of more efficient and assertive policies. However, this task is not simple given the technological specificities and innovation dynamics of the various segments that make up

-
- 1 Economista com graduação, mestrado e doutorado pela Universidade de Paris I e professor titular do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
 - 2 Economista pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), doutora em Política Científica e Tecnológica pela Unicamp e professora assistente doutora na Universidade Estadual Paulista (Unesp).
 - 3 Economista pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), doutora em Política Científica e Tecnológica pela Unicamp e professora da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas).
 - 4 Engenheira eletricista pela Universidade de Brasília (UnB), MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e assessora técnica no Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).
 - 5 Engenheiro eletricista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Diploma de Estudos Aprofundados (DEA) em economia de sistemas energéticos e inovação pela Universidade de Paris-Dauphine e INSTN e assessor técnico no CGEE.

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica e a construção metodológica que pautaram o mapeamento de indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) em energia para o Brasil. A discussão sobre sistemas tecnológicos de inovação e sobre as funções do sistema de inovação em energia configurou a base para a definição do conjunto de dimensões de indicadores de CT&I, que abarcam os distintos aspectos da inovação neste setor, fundamentais para servir de apoio à tomada de decisão na promoção de uma transição energética sustentável para o País.

Palavras-chave: Inovação. Transição energética. Energias renováveis. Sistema tecnológico. Políticas públicas.

the energy sector. Thus, this article aims to present the theoretical foundation and methodological construction that guided the mapping of science, technology and innovation (ST&I) indicators in energy for Brazil. The discussion on technological innovation systems and the functions of the energy innovation system formed the basis for defining the set of dimensions of STI indicators, which cover the different aspects of innovation in this sector, which are fundamental to support decision-making in promoting a sustainable energy transition for the country.

Keywords: Innovation. Energy transition. Renewable energy. Technological system. Public policy.

1. Introdução

Diante da busca por um modelo energético que seja ambientalmente sustentável e socialmente mais justo, as iniciativas por parte dos agentes brasileiros que se ocupam dos temas de energia e inovação para promover uma transição energética ampla têm se fortalecido. Nesse contexto, para compreender as características que configuram a geração e a difusão de inovações tecnológicas no setor energético em suas diversas dimensões, é essencial reunir métricas e indicadores que ofereçam os insumos necessários para identificar eventuais lacunas, fragilidades e potencialidades. Assim, torna-se possível a formulação e avaliação de políticas públicas e estratégias para o setor energético.

Um primeiro esforço neste sentido ocorreu em 2019, no âmbito do projeto **Energy Big Push**, quando a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) levantou a necessidade de sistematizar dados e informações em inovação no setor de energia no Brasil. Inicialmente, esta necessidade era direcionada à elaboração dos indicadores de investimentos públicos e publicamente orientados de pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) em energia. A sistematização seria feita por meio da coleta, tratamento e análise de dados mantidos por instâncias nacionais, tais como Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES),

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), e Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) (CEPAL; CGEE, 2020). Os trabalhos decorrentes permitiram a constituição da plataforma **inova-e** (EPE, 2020), que é operada pela EPE e disponibiliza regularmente esses indicadores para tomadores de decisão e público interessado. Também se tornou possível a oportunidade para que essa informação fosse divulgada no exterior, na principal publicação internacional sobre o tema, veiculada pela Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) (IEA, 2022). O Brasil é o único País não membro da Agência a ter os seus dados de dispêndio em PD&D reportados.

Esses resultados representaram um ponto de partida importante para iniciativas de organização e sistematização de indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) no setor de energia. Desta forma, o impacto das políticas públicas será mais eficiente e assertivo a partir do momento em que os tomadores de decisão tiverem ao seu dispor informações sobre as diversas dimensões da inovação. Foi nesse contexto que surgiu a proposta de ampliar tais métricas, com a identificação de um conjunto de indicadores e medidas da inovação no setor energético, para subsidiar políticas de transição energética para a sustentabilidade. Assim, o presente artigo:

- Traz a fundamentação teórica na qual se pauta o mapeamento de indicadores de inovação para o setor de energia;
- Descreve o processo de construção da metodologia que orientou a busca dos dados e fontes de informação; e
- Apresenta as considerações finais acerca do esforço de mensuração das atividades de CT&I do setor energético brasileiro.

2. Fundamentações teóricas subjacentes aos indicadores de energia

A transição energética traz grandes desafios produtivos e tecnológicos para todos os países do planeta. Para serem enfrentados, eles exigirão não somente esforços produtivos significativos em termos de construção de novas infraestruturas energéticas, mas também o desenvolvimento de novas tecnologias. Muitas das tecnologias necessárias para a transição energética ainda estão em estágio de desenvolvimento e experimentação (IEA, 2021). Mesmo quando se encontram em estágio mais avançado de maturidade tecnológica em países desenvolvidos, essas tecnologias precisam ser adaptadas e aprimoradas para contextos socioeconômicos

específicos dos países em desenvolvimento. Ademais, a base de recursos naturais costuma ser específica a cada país e região, o que demanda desenvolvimentos tecnológicos próprios. Os exemplos do desenvolvimento tecnológico da Petrobras em águas profundas e do bioetanol produzido a partir da cana-de-açúcar confirmam essa necessidade (FURTADO, 1996; FURTADO; SCANDIFFIO; CORTEZ, 2011). Esses elementos estão na origem da necessidade de constituir sistemas de indicadores de inovação que permitam medir as capacidades e os desenvolvimentos tecnológicos que estão sendo endogenamente gerados em cada país em matéria de energias renováveis e de soluções energéticas sustentáveis.

A proposta de indicadores para medir as capacidades, os esforços e seus resultados, em termos de inovação para energias renováveis e soluções energéticas sustentáveis (que podem subsidiar atores públicos e privados em matéria de transição energética), está vinculada ao referencial teórico dos sistemas tecnológicos de inovação. Com base nesse referencial e nos esforços desenvolvidos pela IEA (IEA, 2020b), propomos nesta seção um conjunto de dimensões que abarcam os distintos aspectos do sistema de inovação em energia.

2.1. Sistemas tecnológicos de inovação

Para apreender o processo de inovação nas atividades produtivas e de consumo relacionadas à energia, o presente trabalho apoia-se no conceito de sistema nacional de inovação inicialmente elaborado por Freeman (1987) e desenvolvido por Lundvall (1992) e Nelson (1993). Esses autores entendem que a inovação não é um processo isolado, mas que deve ser inserido no contexto de uma economia nacional. Nesse contexto, interagem atores como empresas, instituições de ensino e pesquisa e governo, na busca da adoção, do aperfeiçoamento e do desenvolvimento de novas tecnologias. Nesse sentido, Lundvall (1992) entende que um sistema de inovação está constituído por elementos e relacionamentos que interagem na produção, na difusão e no uso do conhecimento que é novo e economicamente útil. O sistema nacional é um sistema social, no qual o aprendizado é a atividade principal e está constituído pelas interações entre seus atores.

Esse mesmo conceito pode ser aplicado a setores como o da energia dentro de um contexto nacional. A Agência Internacional de Energia (IEA, 2020a; IEA, 2020b) denomina de sistema de inovação em energia um conceito que engloba “pessoas, instituições, tecnologias, políticas, recursos, tempo e espaço”. Pode-se considerar que o sistema de inovação em energia reúne um conjunto de atividades produtivas e de consumo que vão desde a captação de energia primária até o uso final da energia. Tal sistema engloba:

- Fornecedores de serviços e equipamentos;
- Produtores e consumidores de energia;
- Instituições públicas e privadas relacionadas com a educação, geração e difusão de conhecimentos científicos e tecnológicos; e
- Instituições públicas de fomento de atividades inovativas e desenvolvimento de políticas de inovação.

No intuito de entender como a emergência de fontes de energias renováveis e sustentáveis ocorre em um contexto no qual predominam fontes fósseis de energia, diversos grupos europeus propuseram o conceito de **funções do sistema de inovação** (HEKKERT *et al.*, 2007; JACOBSSON, BERGEK, 2004; JACOBSSON, JOHNSON, 2000).

As funções do sistema são entendidas como atividades que contribuem para a transformação do sistema de inovação em energia. Com efeito, a emergência de uma nova fonte de energia depende da coordenação e da convergência de um conjunto complexo de atividades, das quais participam atores heterogêneos. Essas novas tecnologias devem competir com fontes de energia já estabelecidas e que contam com infraestrutura, instituições dedicadas e modelos organizacionais e educacionais. Se não contarem com normas e leis adequadas, com um processo de aprendizado que demanda tempo e com a coordenação de um conjunto de atores heterogêneos – tais como empresas, instituições de ensino e pesquisa –, as fontes de energias renováveis não alcançarão a competitividade. Ademais, esse processo de busca por novas soluções energéticas é marcado pela incerteza, o que requer um acompanhamento constante e a reorientação das estratégias de busca da inovação. Importante ressaltar também que essas estratégias precisam ser modificadas em decorrência do grau de maturidade das novas tecnologias que são desenvolvidas.

Por meio da análise das funções do sistema de inovação, é possível entender como uma nova tecnologia está logrando consolidar-se dentro do contexto de uma determinada economia nacional. No intuito de caracterizar sistemas de inovação em energia, a IEA propõe (IEA, 2020b) quatro pilares que caracterizam as funções do sistema:

1. **Promoção de recursos** (*resource push*): deve prover recursos financeiros, humanos e de capital de forma sustentada para PD&D e também para produtos em estágio inicial de desenvolvimento;

2. **Gestão do conhecimento** (*knowledge management*): deve assegurar o fluxo de novos conhecimentos para os usuários, incluindo informações sobre novos produtos. São importantes as redes de troca de conhecimento, assim como o funcionamento adequado dos sistemas de proteção da propriedade intelectual, por meio de patentes e de publicações científicas;
3. **Atração de mercado** (*market pull*): deve estimular investimentos em inovação nas empresas, para competirem em mercados de produtos com mais atributos de novidade, ou seja, mercado com maior valor agregado. Para isso, ressalta a importância de remoção de barreiras à entrada de inovações no ambiente regulatório;
4. **Apoio sociopolítico** (*socio-political support*): busca maximizar as chances de as novas tecnologias energéticas serem adotadas pelos usuários e de receberem suporte dos tomadores de decisão, minimizando assim a tensão entre inovação e preferências sociais.

Essas funções são interdependentes entre si e precisam desenvolver-se equilibradamente para que uma tecnologia energética renovável e sustentável possa tornar-se competitiva e consiga, no final do processo, suplantando as energias incumbentes fósseis. Para que os decisores e *stakeholders* possam acompanhar o desenvolvimento dessas funções, é importante que contem com um sistema de monitoramento da inovação. O desenvolvimento de indicadores de CT&I é muito importante para acompanhar esse processo de transformação do sistema de inovação em energia. Nesse sentido, diversos trabalhos que analisaram tais sistemas associaram as funções a indicadores e métricas específicos (NEGRO, HEKKERT, SMITS, 2007; FURTADO, HEKKERT, NEGRO, 2020; IEA, 2020b).

2.2. Dimensões do sistema de inovação em energia

Segundo a IEA, os objetivos da política de inovação energética – incluindo um meio ambiente mais limpo, competitividade internacional, uma economia mais forte, menos pobreza energética e um sistema energético mais resiliente – não podem ser monitorados a partir de medidas de curto prazo, isto é, em anos, mas a partir de uma perspectiva de longo prazo, em décadas. É difícil estabelecer um vínculo direto entre esses objetivos e as dimensões da política de inovação. Os resultados de tal política – conhecimento, patentes, novos produtos, custos mais baixos e maior eficiência – também apresentam defasagens de tempo significativas, que obscurecem as correlações entre mudanças de política e resultados em nível macro. Os insumos para a política de inovação são rastreados mais facilmente e incluem financiamento direto, educação, política fiscal, regimes de propriedade intelectual e instrumentos de mercado.

Dessa forma, a IEA sugere que cada país reúna indicadores que possam apresentar evidências sobre o desempenho das quatro funções ou pilares do sistema de inovação energética (impulso de recursos, gestão do conhecimento, atração de mercado e apoio sociopolítico). O desempenho dessas funções pode ser medido e acompanhado por meio de indicadores de CT&I.

Assim, considerando os aspectos ressaltados pela IEA, a proposta de mapeamento de indicadores do presente trabalho busca associar, para o caso brasileiro, grandes conjuntos de indicadores de CT&I – denominados de dimensões – aos quatro pilares do sistema de inovação em energia (Tabela 1). Embora esses indicadores possuam características nacionais, que os diferenciam de outros levantados pela IEA, buscou-se, na medida do possível, resgatar aqueles que possuem metodologias comuns que permitem realizar uma análise comparativa com outros países.

Tabela 1. Pilares da IEA e a relação com as dimensões de análise propostas para o sistema de inovação em energia no Brasil

Pilares da IEA	Dimensões de análise propostas
Impulso de recursos (<i>Resource push</i>)	• Recursos humanos em CT&I • Investimentos em PD&D • Infraestrutura em CT&I • Inovação e empreendedorismo
Gestão do conhecimento (<i>Knowledge management</i>)	• Produção científica • Relações de cooperação • Inovação e empreendedorismo
Atração de mercado (<i>Market pull</i>)	• Cadeia produtiva e comércio exterior • Política e regulação • Inovação e empreendedorismo
Apoio sociopolítico (<i>Socio-political support</i>)	• Política e regulação • Apoio sociopolítico

Fonte: Elaboração própria com base em IEA (2020a).

Os indicadores de CT&I têm despertado crescente interesse, devido ao consenso, entre diversas correntes do pensamento econômico, sobre a importância e o papel central da inovação como principal motor do desenvolvimento econômico. Todavia, há notáveis especificidades em relação aos demais indicadores utilizados pelas ciências sociais aplicadas, devido à falta de um modelo conceitual estabelecido que associe essas métricas à mudança econômica e social (BARRÉ; PAPON, 1993). Paralelamente, tem-se verificado uma crescente expansão desses indicadores, em função do aumento das bases de dados e das ferramentas computacionais (FREEMAN; SOETE, 2009). O grande número de bases de dados e a sofisticação das mesmas têm possibilitado o surgimento de novos indicadores, que respondem à necessidade de perceber o processo de inovação como sendo sistêmico e interativo.

Partindo desta premissa, agrupar os indicadores em dimensões, que contemplam aspectos específicos do sistema de inovação em energia, contribui para compreender a inovação como um fenômeno amplo, constituído por fontes distintas de aprendizados associadas à ciência e experiência (CHAMINADE *et al*, 2009). Trata-se também de um fenômeno onipresente, por estar em praticamente todos os âmbitos da economia como um processo de contínuo aprendizado, busca e exploração, resultando em novos produtos, novas técnicas, novas formas de organização e novos mercados (LUNDVALL, 1992). Além disso, pode ser observado na Tabela 1 que as dimensões relacionam-se com uma ou mais funções ou pilares do sistema de inovação em energia e podem desdobrar-se em um grande conjunto de indicadores de CT&I. Portanto, a identificação de métricas pertinentes para aferir o processo de inovação no sistema de inovação em energia é coerente com os enfoques do **Big Push** para a sustentabilidade da Cepal (CEPAL, 2020) e com a proposta de avaliação dos sistemas de inovação em energia da IEA (IEA, 2020a; IEA, 2020b).

3. Desenho da metodologia de mapeamento dos indicadores de inovação em energia

O processo de desenvolvimento da metodologia de mapeamento abrangeu basicamente dois esforços, retroalimentados por seus componentes e entre eles, considerando aspectos inerentes ao setor de energia e às suas atividades inovativas. Em linhas gerais, foram considerados aspectos específicos da morfologia e do desempenho do sistema de inovação em energia. Além disso, definiram-se as estatísticas que seriam contempladas em cada uma das dimensões e subdimensões que iriam compor a plataforma de indicadores.

O primeiro esforço caracterizou-se pela definição do arcabouço teórico subjacente ao fenômeno inovativo do setor de energia que se buscou quantificar, descrito no item anterior. Este trabalho permitiu que um conjunto de indicadores fosse identificado e associado às funções do sistema de inovação em energia.

No processo de mapeamento e construção de indicadores, é importante ter clareza sobre quais fenômenos pretende-se medir e qual o objetivo desse monitoramento nos médio e longo prazos. Assim, a definição de perguntas orientadoras foi fundamental para conduzir o processo de seleção das variáveis que serão monitoradas com a finalidade de reunir as evidências sobre os desafios e as oportunidades em inovação para uma transição energética sustentável no Brasil.

Ainda como parte desse primeiro esforço, o passo seguinte foi ampliar a interlocução com as partes interessadas do setor de energia para compreender seus interesses e necessidades

e, assim, iniciar um processo interativo para a construção da plataforma de indicadores. Para isso, foram realizadas entrevistas com representantes das seguintes instituições: Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), Associação Brasileira do Biogás (Abiogás), Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee), Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), Instituto E+ Transição Energética, PSR, Programa Brasileiro de Energia do Reino Unido (UK-BREP, na sigla em inglês), Ministério de Minas e Energia (MME), EPE, Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ANP, Fapesp e Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC). Essas entrevistas agregaram informações importantes sobre a expectativa dos agentes quanto ao conjunto de indicadores que são de seu interesse, resultando nos pontos de convergência apresentados na Tabela 2. É importante destacar que as entrevistas mostraram-se relevantes também como insumo metodológico para a adequação das questões orientadoras das dimensões de análise dos indicadores.

Tabela 2. Destaques e pontos de convergência das entrevistas

Desafios	» Alocar melhor os recursos para promover a inovação de forma sistêmica; » Promover maior conexão entre os atores do sistema de inovação em energia; » Identificar áreas prioritárias para o País e implementar políticas estratégicas que orientem o setor de energia;
Foco	» Otimizar a alocação dos recursos e cobrar resultados práticos para a sociedade; » Garantir um ambiente propício à inovação e à criação de novos modelos de negócio; » Formular políticas claras e consistentes, que apontem prioridades e apoiem a estruturação dos novos mercados; » Identificar os gargalos da cadeia produtiva e promover setores mais competitivos nacional e internacionalmente;
Papel da inovação para uma transição energética sustentável e inclusiva	» Proporcionar sustentabilidade e inclusão em projetos de inovação, desde a sua ideação; » Focar no usuário e nos impactos potenciais das novas tecnologias; » Promover o desenvolvimento socioeconômico e regional e a redução do custo da energia;
Necessidades de informação	» Para sistematizar dados e contribuir para a tomada de decisão em toda a cadeia de inovação; » Para conectar competências e favorecer redes de inovação; » Para medir a relação, a interdependência e a transferência de conhecimento entre instituições nacionais e estrangeiras; » Para avaliar o alinhamento dos projetos de inovação com as estratégias das políticas energéticas;
Interesses na plataforma	» Divulgar dados sistematizados, embasando a tomada de decisões; » Identificar lacunas de investimentos e sobreposição de esforços; » Dar visibilidade às pesquisas e disseminar informações.

Fonte: Elaboração própria.

Barré (2004) aponta que este envolvimento torna o processo de construção de indicadores de CT&I mais transparente, possibilitando que os mesmos tornem-se mais compreendidos e apropriados pelos *stakeholders*. O autor destaca ainda a necessidade da coerência entre a proposta

do que se mensura e os dados que os atores realmente precisam para a tomada de decisão. Quando os indicadores de CT&I são utilizados pelos atores do sistema nacional de inovação como canal de comunicação, o envolvimento possibilita avaliar as trajetórias tecnológicas que configuram a inovação, demonstrando transparência, credibilidade e processos de tomada de decisão aceitáveis, materializando questões da dimensão democrática da CT&I.

As dimensões de análise indicam o conjunto de dados que serão levantados no mapeamento, com vistas a contribuir com evidências para a tomada de decisão na condução da transição energética do País. As perguntas orientadoras, as dimensões e as respectivas contribuições que esses conjuntos de informações deverão propiciar então discriminadas na Tabela 3. A coluna denominada **sinais e/ou contribuições** ressalta aspectos que são de interesse dos formuladores de política pública, cujos indicadores deverão subsidiar a tomada de decisão para a formulação, adequação e monitoramento de políticas estratégicas impulsionadoras da inovação no setor de energia. Além disso, outro aspecto importante dos indicadores em energia é a oferta de evidências para monitorar e avaliar os resultados das políticas estratégicas implementadas no setor. Esse interesse ganha especial relevância quando se considera que há pouca tradição em avaliação de políticas públicas no Brasil.

Tabela 3. Perguntas orientadoras, dimensões e contribuição das informações a serem coletadas

Perguntas orientadoras	Dimensões	Subdimensões	Sinais e/ou contribuições
Há pesquisadores, engenheiros e técnicos suficientes para atender ao setor de energia?	Recursos humanos em CT&I	Formação de pessoal qualificado	Capacidade de oferta e demanda por recursos humanos qualificados
Qual o número de pessoas ocupadas em CT&I no setor energético?		Pessoal ocupado	
O volume de investimentos em PD&D no setor de energia é suficiente?	Investimentos em PD&D		Capacidade e potencial para o desenvolvimento de tecnologias para promover a transição energética nacional
Em quais áreas os recursos estão alocados?		Dispêndio do setor público	
Os recursos estão distribuídos de maneira eficiente entre pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental, demonstração e inovação?		Dispêndio do setor privado	
Esses investimentos atendem aos objetivos da estratégia nacional para o setor?			

Perguntas orientadoras	Dimensões	Subdimensões	Sinais e/ou contribuições
Existe infraestrutura suficiente para inovar?	Infraestrutura em CT&I	Laboratórios de pesquisa	Capacidade e potencial para promover o desenvolvimento tecnológico em energia com a redução progressiva das disparidades regionais
Qual a distribuição dessa infraestrutura no território nacional, por categoria energética?		Usinas experimentais e projetos-piloto	
Há cooperação ICT-empresa-governo para inovação no setor energético?	Relações de cooperação	Parcerias público-privadas	Capacidade de interação e troca de conhecimentos que potencializem inovações com maior potencial de mercado
Quais são as categorias energéticas com mais cooperação?		Redes de inovação	
Qual tipo de cooperação é realizada?			
A produção científica, por categorias energéticas, é expressiva?	Produção científica	Artigos científicos	Capacidade da PD&I nacional e o posicionamento do País na fronteira tecnológica em energia
Qual o impacto dessas publicações, de acordo com o número de citações?		Impacto das publicações	Evolução e amplitude do conhecimento científico em energia, assegurando a troca do conhecimento entre agentes nacionais e internacionais
Em quais categorias energéticas o Brasil é referência científica?			
As empresas do sistema energético brasileiro são inovadoras?	Inovação e empreendedorismo	Empresas	Capacidade de desenvolvimento de novos mercados e potencial de difusão das inovações em energia
Quais os tipos de inovação que estão sendo geradas (produto, processo ou ambos)?			
São inovações incrementais, imitação/tropicalização ou disruptivas?		Produtos, processos e serviços	
Quantos projetos de inovação não chegam ao mercado? Por quais motivos?			
Qual o número de startups e PME geradas no setor de energia?			

Perguntas orientadoras	Dimensões	Subdimensões	Sinais e/ou contribuições
Qual a estrutura da cadeia produtiva por categoria energética? Quem são os principais agentes?	Cadeia produtiva e comércio exterior	Produção industrial	Visão da industrialização e competitividade do setor de energia
Quais bens são produzidos internamente? Quais bens importamos?		Balança comercial	Dependência externa, potencial para substituição de importações, para exportar produtos com maior conteúdo tecnológico e para capitalizar tecnologias emergentes
Há competências para desenvolvê-los internamente?		Investimento direto no País	
Há políticas estratégicas para o setor de energia nos curto, médio e longo prazos?	Políticas e regulação		
Há instrumentos que estimulem e deem suporte ao desenvolvimento de tecnologias mais disruptivas?		Fomento	Visão estratégica, indicação de prioridades, funcionamento e gestão do setor de energia
Há mecanismos para a difusão das tecnologias e criação de mercados?		Inovação	
Qual a compreensão da sociedade sobre energias renováveis?	Apoio sociopolítico		
Qual a percepção e o apoio das associações industriais à transição energética?			Funcionamento e gestão do setor, indicações para maximizar a adoção das novas tecnologias limpas, minimizando a tensão entre a inovação e as preferências sociais
Qual a diversidade de atores envolvidos no processo de tomada decisão?			
Qual o apoio de ONG para a transição energética?			

Fonte: *Elaboração própria.*

O segundo esforço do mapeamento refletiu-se na análise metodológica da coleta e seleção de dados do setor de energia. Esta etapa envolveu basicamente a disponibilidade desses dados no sistema estatístico brasileiro e internacional, considerando fontes previamente existentes e a proposição de novas fontes, visando a abranger a amplitude e a onipresença da inovação no setor de energia. Iizuka e Hollanders (2017) apontam que cada indicador possui características próprias e detém métodos de coleta de dados e fontes de dados diferentes, cuja diversidade também revela os distintos aspectos do processo de inovação. Nesse esforço, foram feitas escolhas referentes a **elementos, atributos, variáveis e bases de dados**.

Os elementos constituem as entidades a partir das quais os dados são coletados (SWEENEY; WILLIAMS; ANDERSON, 2016). Na elaboração de indicadores de energia, os elementos são variados e abrangem pessoas; organizações públicas e privadas que financiam ou realizam dispêndios em inovação; artigos científicos; empresas inovadoras; patentes; projetos de pesquisa; bens do comércio exterior; políticas; textos da internet; etc. Em decorrência dessas fontes variadas de informação, é possível relacionar atributos econômicos, sociais, geográficos e tecnológicos, como os da classificação energética proposta pela IEA que será apresentada a seguir.

As variáveis representam os atributos que se pretende estudar em uma população de elementos. Essas variáveis podem ser quantitativas ou qualitativas. No caso das variáveis qualitativas ordinais, é possível elaborar indicadores quantitativos, como ocorre nas pesquisas de inovação. A partir das variáveis, são formados os indicadores.

Esse conjunto de esforços na escolha dos atributos e das variáveis envolveu simultaneamente o mapeamento das bases de dados. Aquelas prontamente disponíveis apresentaram muitas diferenças entre si – em virtude dos diversos órgãos responsáveis por sua criação –, exigindo formas distintas de coleta e de tratamento. Há outras bases que se pautam em dados secundários e por amostragem, nas quais não foi possível acessar o microdado. Desta maneira, a metodologia de proposição de indicadores deve envolver formas de agregação distintas, como na definição dos grupos de atividade econômica a serem considerados. Em alguns casos, a desagregação será a dois dígitos; em outros, a três ou quatro, sendo possível solicitar a elaboração de tabulações especiais para contornar algumas dessas dificuldades.

A regularidade do levantamento do dado é um aspecto central, pois permite analisar a evolução ao longo do tempo. Certos indicadores, como aqueles relacionados a recursos humanos, pautados na base da Relação Anual de Informações Sociais (Rais), possuem regularidade anual. Porém, outros indicadores apoiam-se em dados cuja coleta é trienal, como os indicadores sobre inovação pautados na base da Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica (Pintec) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Há, ainda, aspectos do sistema de inovação em energia ainda não mensuráveis de forma sistemática e padronizada, que exigem coleta de dados primários, pois as metodologias ou não foram desenvolvidas ainda ou estão em fase de consolidação. Lacunas especificamente inerentes ao sistema estatístico brasileiro foram encontradas quando se propôs os indicadores relacionados à presença de *startups* e de instrumentos de fomento à inovação implantados em políticas e regulação do setor de energia. Outras metodologias, por sua vez, estão em fase de consolidação até mesmo no âmbito internacional, como indicadores relacionados à infraestrutura de CT&I e ao apoio sociopolítico.

Destaca-se também o esforço do mapeamento de indicadores de inovação em energia em reunir métricas e indicadores que apresentem evidências para atuar frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), especificamente o ODS 1 – Erradicação da pobreza; ODS 5 – Igualdade de gênero; e ODS 7 – Energia limpa e acessível (AGENDA 2030, 2021). Essas evidências poderão ser reunidas por meio das bases de dados cujas variáveis permitem a desagregação por atributos como sexo; raça; nível de escolaridade; distribuição geográfica por Unidades da Federação ou regiões; e salário médio. É importante compreender que promover a transição energética vai muito além do que promover a troca de fontes de energia. É preciso que a nova matriz energética esteja pautada em menor desigualdade socioeconômica e de gênero.

Desta maneira, por meio do constructo conformado pelas dimensões, subdimensões e perguntas orientadoras, bem como pelos esforços metodológicos aplicados nas escolhas dos elementos, dos atributos, das variáveis e base de dados, foi possível propor um conjunto de indicadores que permitem caracterizar os diversos aspectos do sistema de inovação em energia, os quais estão detalhados na segunda parte do presente artigo, intitulada Mapeamento estratégico de indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação em energia – Classificações para a construção dos indicadores, dos mesmos autores (FURTADO *et al.*, 2023b).

4. Considerações finais

Este artigo apresentou a base teórica e o esforço metodológico pioneiro para mapear as fontes de dados que permitem identificar um conjunto de indicadores e medidas da inovação para o setor energético, de forma a subsidiar políticas de transição energética para a sustentabilidade no Brasil. Esse esforço apoiou-se no trabalho de construção do sistema de indicadores de CT&I realizado pela Agência Internacional de Energia para seus países-membros. Além disso, o presente artigo apoia-se no referencial teórico dos sistemas tecnológicos de inovação aplicado ao setor de energia, denominado de sistema de inovação em energia pela IEA.

O sistema de inovação em energia reúne um conjunto de atividades produtivas e de consumo que vão desde a captação de energia primária até o uso final da energia, englobando: fornecedores de serviços e equipamentos; produtores e consumidores de energia; instituições públicas e privadas relacionadas à educação, geração e difusão de conhecimentos científicos e tecnológicos; e instituições públicas de fomento de atividades inovativas e desenvolvimento de políticas de inovação. As funções, por sua vez, são entendidas como atividades que contribuem para a transformação do sistema de inovação em energia. Para alcançar a competitividade, uma nova

fonte de energia depende de dois fatores principais: a coordenação de um conjunto complexo de atividades, executadas por atores heterogêneos; e longos processos de aprendizado para que alcancem a competitividade. Ademais, a incerteza que envolve esse processo requer um acompanhamento constante e a reorientação das estratégias de busca da inovação, ressaltando o papel das políticas públicas para oferecer suporte estratégico a tais tecnologias energéticas.

Diante disso, a consulta aos atores do sistema brasileiro de inovação em energia subsidiou a elaboração das perguntas para a definição de nove dimensões de indicadores, as quais foram associadas às funções e aos pilares da inovação em energia. Com o intuito de responder às perguntas norteadoras apresentadas, foram desenhados caminhos possíveis para a construção de um conjunto de indicadores a partir destas nove dimensões, as quais se desdobraram em 18 subdimensões e conduziram a proposta de 32 indicadores e quatro métricas. Esses desdobramentos são apresentados em detalhes na terceira parte do presente artigo, intitulada Mapeamento estratégico de indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação em energia – proposta de um sistema de mensuração, dos mesmos autores (FURTADO *et al.*, 2023c).

Os desafios metodológicos encontrados na trajetória de construção dos indicadores são discutidos na segunda parte do presente artigo, intitulada Mapeamento estratégico de indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação em energia – Classificações para a construção dos indicadores, dos mesmos autores (FURTADO *et al.*, 2023b).

O referido texto também apresenta um esforço importante para identificar, com graus distintos de agregação, quais classificações estatísticas podem categorizar o setor energético e suas tecnologias.

Este pioneiro esforço atestou a complexidade que envolve o processo de construção de um conjunto de indicadores de inovação para o setor de energia, especialmente no Brasil, que não possui tradição de sistematização e coleta desse tipo de informação. Mesmo pautando-se em literatura internacional e na experiência prévia da IEA, as especificidades das bases de dados brasileiras apontaram desafios importantes. Estes precisarão ser superados ao longo do caminho de sistematização de indicadores que possam subsidiar a política de inovação para a transição energética no País.

Referências

AGENDA 2030. ODS – **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>

BARRÉ, R. S&T indicators for policy making in a changing science-society relationship. *In*: MOED, H. F.; GLANZEL, W.; SCHMOCH, U. **Handbook of quantitative science and technology research: the use of publication and patent statistics in studies of S&T system**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.

BARRÉ, R.; PAPON, P. **Economie et politique de la science et la technologie**, Collection Pluriel, Hachette, Paris, 1993. 399p.

CHAMINADE, C. *et al.* Designing innovation policies for development: towards a systemic experimentation-based approach. *In*: LUNDVALL, A.B., JOSEPH, K.J., CHAMINADE, C; VANG, J. (eds.) **Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: building domestic capabilities in a global setting**. UK: Edward Elgar Publishing Ltd, 2009.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE - CEPAL. **Construir un nuevo futuro: Una recuperación transformadora con igualdad y sostenibilidad**. Naciones Unidas, CEPAL (LC/SES.38/3-P/Rev.1): Santiago de Chile, 2020. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46227/1/S2000699_es.pdf

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE - CEPAL; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Panorama dos investimentos em inovação em energia no Brasil: dados para um grande impulso energético**, Documentos de Projetos (LC/TS.2020/62; LC/BRS/TS.2020/4). CEPAL: Santiago, 2020. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/publicaciones/45908-panorama-investimentos-inovacao-energia-brasil-dados-grande-impulso-energetico#:~:text=O%20Escrit%C3%B3rio%20da%20CEPAL%20em,energia%C3%A9tica%20em%20bases%20sustent%C3%A1veis%20no>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Panorama dos investimentos de inovação em energia no Brasil**. 2020. Disponível em: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com/inova-e/>

FREEMAN, C. **Technology and economic performance: Lessons from Japan**, Pinter: London, 1987.

FREEMAN, C.; SOETE, L. Developing science, technology and innovation indicators: what we can learn from the past. **Research Policy**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 583-589, maio 2009.

FURTADO, A.T.; CARVALHO, S.A.D. de; BENELI, D.S.; ROCHA, B.B.; Poppe, M. Mapeamento estratégico de indicadores em Ciência, tecnologia e inovação em energia; classificação para construção dos indicadores. **Revista Parcerias Estratégicas**, v. 28, n. 53, jun. 2023b.

FURTADO, A.T.; CARVALHO, S.A.D. de; BENELI, D.S.; ROCHA, B.B.; Poppe, M. Mapeamento estratégico de indicadores em Ciência, tecnologia e inovação em energia; proposta de um sistema de mensuração. **Revista Parcerias Estratégicas**, v. 28, n. 53, jun. 2023c.

FURTADO, A.T. A Trajetória tecnológica da Petrobrás na produção offshore. **Espacios Caracas - Venezuela**, v. 17, n.3, p. 31-66, 1996. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a96v17n03/30961703.html>

FURTADO, A.T.; HEKKERT, M.P.; NEGRO, S.O. Ofactors, functions, and fuels: exploring a second generation ethanol transition from a technological innovation systems perspective in brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101706, dez. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629620302814?via%3Dihub>

FURTADO, A.T.; SCANDIFFIO, M.I.G.; CORTEZ, L.A.B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, p. 156-166, 2011. Disponível em: <https://www.nipe.unicamp.br/docs/publicacoes/thebrazil.pdf>

HEKKERT, M.P.; SUURS, R.A.A.; NEGRO, S.O.; KUHLMANN, S.; SMITS, R.e.H.M. Functions of innovation systems: a new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting And Social Change**, v. 74, n. 4, p. 413-432, maio 2007. Disponível em: <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/1874/385298/1/Functions.pdf>

IIZUKA, M.; HOLLANDERS, H. The need to customise innovation indicators in developing countries. **Working Paper Series**, Maastricht Economic And Social Research Institute On Innovation And Technology, The Netherlands, p.01-38, 09 ago. 2017. <http://doi.org/10.24545/00001723>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Energy technology perspectives 2020**. Special Report on Clean Energy Innovation. IEA: Paris, 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020/clean-energy-innovation>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Tracking clean energy innovation: a guide to the issues and indicators**. IEA: Paris, 2020b.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Net zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector.** IEA: Paris, 2021. 24p. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/7ebafc81-74ed-412b-9c60-5cc32c8396e4/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector-SummaryforPolicyMakers_CORR.pdf

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Tracking public investment in energy technology research – A roadmap.** IEA: Paris, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-public-investment-in-energy-technology-research-a-roadmap>

JACOBSSON, Staffan; BERGEK, Anna. The Diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. **Energy Policy**, v. 28. p. 625-640. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Staffan-Jacobsson/publication/222312239_The_Diffusion_of_Renewable_Energy_Technology_An_Analytical_Framework_and_Key_Issues_for_Research/links/5e6dddef92851c6ba70408e2/The-Diffusion-of-Renewable-Energy-Technology-An-Analytical-Framework-and-Key-Issues-for-Research.pdf

JACOBSSON, Staffan; BERGEK, Anna. 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. Disponível em: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:oup:indcch:v:13:y:2004:i:5:p:815-849>.

JACOBSSON, Staffan; JOHNSON, Anna. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. **Energy Policy**, v. 28, n. 9, p. 625-640, jul. 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00041-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00041-0)

LUNDVALL, B-Å. (ed.). **National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning**, Pinter: London, 1992. 404p.

NEGRO, S.O.; HEKKERT, M.P.; SMITS, R.E. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion—A functional analysis. **Energy Policy**, v. 35, n. 2, p. 925-938, fev. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mp-Hekkert/publication/46677625_Explaining_the_failure_of_the_Dutch_innovation_system_for_biomass_digestion_-_A_functional_analysis/links/5a83e9e545851504fb3aa994/Explaining-the-failure-of-the-Dutch-innovation-system-for-biomass-digestion-A-functional-analysis.pdf

NELSON, R. (ed.), **National Innovation Systems. A Comparative Analysis**, Oxford University Press: New York/Oxford, 1993. 541 p.

SWEENEY, D.J.; WILLIAMS, T.A.; ANDERSON, D.R. **Estatística aplicada à administração e economia**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.