

Formação do Sistema Tecnológico de Inovação do Hidrogênio Verde: Uma Revisão Sistemática do Caso Português

Green Hydrogen Technological Innovation System Formation: A Systematic Review of the Portuguese Case

Caroline Rodrigues Vaz, Doutora, Universidade Federal de Santa Catarina.

caroline.vaz@ufsc.br

Mauricio Uriona Maldonado, Doutor, Universidade Federal de Santa Catarina.

m.uriona@ufsc.br

Paula Fernanda Varandas Ferreira, Doutora, Universidade do Minho.

paulaf@dps.uminho.pt

Número da sessão temática da submissão – 9

Resumo

A transição energética global coloca países periféricos como Portugal numa tensão entre pressões externas e capacidades internas relativas ao hidrogénio verde. Este estudo analisa o Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) do hidrogénio verde em Portugal, focando na interação entre ligações transnacionais e a capacidade de absorção doméstica. Através de uma revisão sistemática (PRISMA) de 76 artigos, revela-se uma assimetria funcional: o sistema possui infraestrutura técnica robusta, mas depende de uma diretriz exógena da UE orientada para a exportação, carecendo de legitimação social. Consequentemente, a validação económica e técnica ultrapassa a aceitação comunitária, criando gargalos na implementação física. Os resultados destacam que a governança supranacional gera riscos significativos para países seguidores quando a "licença social para operar" não é assegurada localmente.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde; Sistema Tecnológico de Inovação; Capacidade de Absorção; Portugal; Revisão Sistemática.

Abstract

The global energy transition places peripheral countries like Portugal in a tension between external pressures and internal capabilities regarding green hydrogen. This study analyzes Portugal's green hydrogen Technological Innovation System (TIS), focusing on the interaction between transnational linkages and domestic absorptive capacity. Using a systematic review (PRISMA) of 76 articles, the study reveals a functional asymmetry: the system boasts robust technical infrastructure but relies on an exogenous, export-driven EU directive that lacks social legitimation. Consequently, economic and technical validation outpaces community acceptance, creating physical implementation bottlenecks.

The findings highlight that supranational governance generates significant risks for follower countries when the "social license to operate" is not secured locally.

Keywords: Green Hydrogen; Technological Innovation System; Absorptive Capacity; Portugal; Systematic Review.

1. Introdução

A transição energética global impulsionou o hidrogênio verde (H2V) para o centro das estratégias de descarbonização. Na União Europeia, esta urgência é enquadrada pelo *Green Deal* e pelo *REPowerEU*, que desenham uma nova arquitetura energética. Como observam BERGEK *et al.* (2015); KONECZNA; CADER (2021), ao analisarem as estratégias dos estados-membros, a UE está a desenhar uma nova arquitetura onde o hidrogênio atua como o elo entre a produção renovável e o consumo industrial, criando uma pressão regulatória que molda profundamente as políticas nacionais.

Neste cenário, desenha-se uma nova geografia da energia, onde países periféricos com abundância de recursos endógenos são reposicionados estrategicamente. O caso de Portugal é ilustrativo desta dinâmica: estudos recentes de SILVA *et al.* (2024); (ATTIAOUI *et al.*, 2025) e confirmam, através de mapeamento geoespacial, o elevado potencial técnico do território português para a produção eólica e fotovoltaica, respetivamente. Esta vantagem comparativa, traduzida num baixo custo nivelado de eletricidade (LCOE), coloca o país não apenas como consumidor, mas como um potencial exportador para o centro industrial europeu. No entanto, SCHARNIGG; HAARSTAD (2025) alertam que esta integração gera "novas interdependências geopolíticas", onde as estratégias nacionais de países como Portugal correm o risco de serem desenhadas prioritariamente para satisfazer as necessidades de importação da Europa Central, em vez de priorizarem o desenvolvimento industrial local.

A emergência desta tecnologia disruptiva não ocorre num vazio institucional, exigindo uma análise sistémica. A literatura sobre Sistemas Tecnológicos de Inovação (TIS), desenvolvida seminalmente por HEKKERT *et al.* (2007) e BERGEK *et al.* (2008), fornece uma lente robusta para compreender como estas tecnologias ganham maturidade através de funções-chave, como a mobilização de recursos, a legitimação e a formação de mercados. Contudo, a aplicação tradicional do TIS tende a focar-se em países "líderes" tecnológicos ou em sistemas nacionais fechados.

Portugal apresenta-se como um caso de estudo paradigmático desta tensão. Apesar das metas ambiciosas definidas na Estratégia Nacional para o Hidrogênio (EN-H2), a transformação do potencial natural numa economia de hidrogênio funcional levanta questões críticas sobre a prontidão do sistema nacional. A literatura científica sobre o tema tem crescido exponencialmente, mas encontra-se fragmentada: enquanto alguns estudos focam exclusivamente na viabilidade técnica (perspectiva da engenharia), outros analisam isoladamente as políticas públicas ou a logística de exportação. Falta, portanto, uma visão sistémica que integre estas dimensões díspares.

Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo realizar uma revisão sistemática com o propósito de examinar a formação e a dinâmica do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) do hidrogênio verde em Portugal. O foco da análise é investigar a interação entre as conexões transnacionais (que representam pressões e oportunidades externas) e a capacidade de absorção doméstica (composta por recursos e infraestrutura interna) no processo de estruturação deste sistema num contexto de país seguidor.

2. Sistema Tecnológico de Inovação (TIS)

A compreensão da dinâmica de emergência e difusão de novas tecnologias, como o hidrogênio verde, exige uma abordagem sistêmica que ultrapasse a análise isolada de empresas ou políticas públicas. A literatura define o Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) como uma rede dinâmica de agentes que interagem numa área económica específica, sob uma infraestrutura institucional particular, com o propósito de gerar, difundir e utilizar tecnologia. Segundo a definição de CARLSSON; STANKIEWICZ (1991), a essência deste sistema não reside apenas nos fluxos de bens e serviços, mas sim nos fluxos de conhecimento e competência económica. Para estes autores, a fronteira do sistema é definida pela rede de interações técnicas e cognitivas, e não necessariamente por limites geográficos nacionais, o que é fundamental para compreender tecnologias globais.

Avançando de uma perspectiva puramente estrutural, para uma análise de processos, BERGEK *et al.* (2008) propuseram um esquema de análise focado na Dinâmica Funcional. Nesta abordagem, o desempenho de um TIS não é medido pelo número de atores, mas pela qualidade de sete funções-chave que o sistema deve cumprir para ganhar maturidade, sendo elas: (F1) Desenvolvimento de Conhecimento, (F2) Mobilização de Recursos, (F3) Influência na Direção da Busca, (F4) Experimentação Empreendedora, (F5) Formação de Mercado, (F6) Legitimação e (F7) Desenvolvimento de Externalidades Positivas. Os autores argumentam que estas funções interagem de forma não linear, podendo criar "motores de crescimento" (ciclos virtuosos) ou enfrentar "mecanismos de bloqueio" que impedem a tecnologia de passar da fase de I&D para a difusão comercial.

Contudo, a emergência destas funções não é um processo espontâneo. MUSIOLIK; MARKARD; HEKKERT (2012) introduzem o conceito de "*System Building*" (Construção do Sistema), enfatizando a agência e a intencionalidade dos atores. Segundo o seu estudo sobre redes de inovação, as empresas e institutos não se limitam a desenvolver tecnologia; eles colaboram estrategicamente em redes formais para criar "estruturas de suporte" (como associações industriais, padrões técnicos ou roteiros de pesquisa). Este processo deliberado visa melhorar o desempenho funcional do sistema, especialmente a legitimação e a mobilização de recursos, demonstrando que um TIS é fruto de uma construção coletiva e estratégica face a barreiras institucionais.

Esta construção ocorre frequentemente num ambiente de tensão. MARKARD; TRUFFER (2008) integram o conceito de TIS com a Perspectiva Multinível (MLP), situando o sistema tecnológico como um "nicho" inovador que procura desafiar e transformar o "Regime Sociotécnico" dominante. Nesta visão, o sucesso do TIS depende da sua capacidade de exercer

pressão sobre o regime estabelecido (ex: combustíveis fósseis), aproveitando janelas de oportunidade para reconfigurar as estruturas institucionais e de mercado a seu favor. A inovação radical é, portanto, entendida como um conflito entre a novidade emergente e a estabilidade das estruturas vigentes.

Por fim, reconhecendo que os sistemas não operam num vácuo, BERGEK *et al.* (2015) expandiram o quadro teórico para analisar os TIS em contexto. Os autores demonstram que a dinâmica interna de um sistema é moldada por "estruturas contextuais" externas, que incluem o sistema político mais amplo, outros setores industriais e a dimensão geográfica internacional. Através de "acoplamentos estruturais", fatores externos podem impulsionar ou bloquear funções internas (por exemplo, uma diretiva da UE, como fator contextual, pode forçar a *Direção da Busca* num TIS nacional). Esta perspectiva é crucial para analisar sistemas em países seguidores, onde a interação entre a capacidade endógena e as pressões do contexto externo define a trajetória da inovação.

3. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa é de revisão sistemática, a qual foi realizada seguindo o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). A adesão a este protocolo é crucial, pois garante um processo de seleção, triagem e análise dos estudos rigoroso, transparente e replicável, conferindo, assim, qualidade metodológica. Tal padronização reforça a credibilidade dos resultados alcançados (MOHER *et al.*, 2015).

A pesquisa foi iniciada com a pergunta norteadora: "*Como interagem as ligações transnacionais e a capacidade de absorção doméstica na formação do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) do Hidrogênio Verde em países seguidores como Portugal?*".

Para isto, foi utilizado a estratégia de busca do Acrônimo PCC – *Population* (o foco é a difusão de novas tecnologias energéticas), *Concept* (o estudo investiga como o TIS se forma no "país receptor" através de ligações com o "TIS global" e da capacidade interna de absorver conhecimento) *and Context* (a análise centra-se na dinâmica de difusão de um país pioneiro (Core) para um seguidor (Follower)) (HOSSEINI *et al.*, 2024).

A pesquisa foi realizada em janeiro de 2026, com a *string*: *("Green Hydrogen" OR "Renewable Hydrogen" OR "Clean Hydrogen" OR "Power-to-X")AND ("Technological Innovation System*" OR "TIS" OR "Innovation Functions" OR "Absorptive Capacity" OR "Transnational Linkages" OR "Technology Transfer") AND ("Portugal" OR "Follower countr*" OR "Latecomer" OR "Catching-up" OR "Emerging market*")*.

Com foco nas bases de dados *Web of Science* e SCOPUS. A seleção destas bases se justifica pela sua relevância acadêmica, ampla abrangência multidisciplinar, elevado fator de impacto científico, indexação de periódicos revisados por pares e pelas funcionalidades avançadas de rastreamento de tendências e citações (VISSER; VAN ECK; WALTMAN, 2021; DA COSTA; SILVA; DE ASSUNÇÃO, 2023). Essa escolha metodológica está em conformidade com as diretrizes do PRISMA (MOHER *et al.*, 2015), o que assegura a robustez do processo de revisão sistemática.

A triagem foi realizada utilizando o EndNote, um software desktop que auxilia na seleção de estudos em revisões sistemáticas ao organizar, classificar e permitir a colaboração entre pesquisadores (HERBERT, 2002). Ao todo, identificaram-se 289 artigos na Web of Science e 72 na Scopus. Após a remoção das duplicatas, restaram 80 estudos únicos para triagem, dos quais 76 foram incluídos na análise final.

Para a análise de conteúdo dos 76 artigos, a pesquisa usou as sete (7) funções do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) de HEKKERT *et al.* (2007); (BERGEK *et al.*, 2008). As funções do TIS foram reorganizadas em quatro macro-categorias analíticas (A – Governança e Pressão Regulatória, B – Capacidade de Absorção, C - Ligações Transnacionais, D - Viabilidade e Testes Reais), este rearranjo permite distinguir claramente entre os mecanismos de governança e pressão externa (o "pull" internacional) e a base técnica e econômica instalada (o "push" nacional).

4. Resultados e Discussões

A revisão sistemática resultou na análise de 76 artigos, cuja distribuição temporal revela um crescimento exponencial da produção científica a partir de 2023 (Figura 1), coincidindo com a aceleração das agendas europeias o REPowerEU (PLAN; KATTNIG; RIBBE, 2022). Lançado pela Comissão Europeia em 2022 como resposta à crise energética e à guerra na Ucrânia, este pacote legislativo redefiniu a escala da ambição continental, estabelecendo a meta dupla de produzir 10 milhões de toneladas de hidrogênio renovável internamente e importar outros 10 milhões até 2030. Para Portugal, um país periférico com abundância de recursos renováveis, este documento funcionou como um "comando estratégico" imediato, forçando a revisão do Plano Nacional de Energia e Clima - PNEC 2030 (PNEC, 2024) e a elevação da meta de capacidade de eletrólise para 5,5 GW, num claro alinhamento com a procura europeia em detrimento das necessidades orgânicas da indústria nacional.

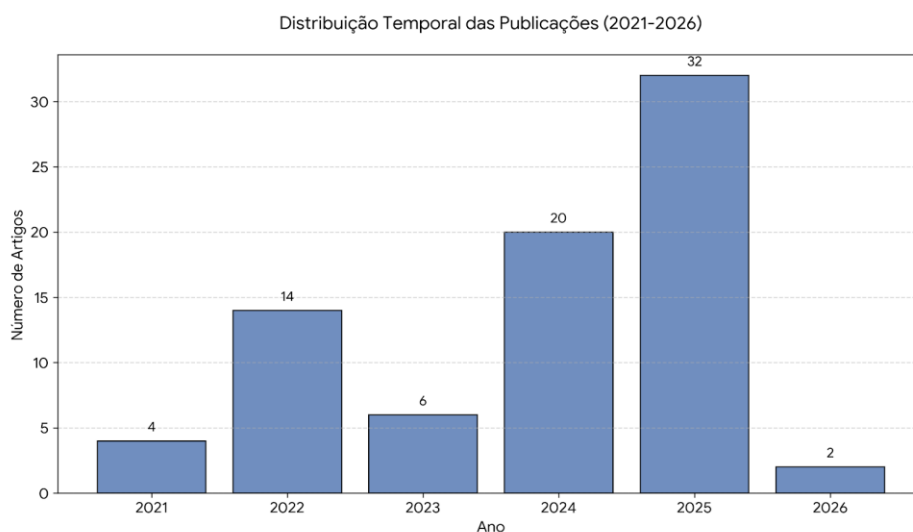


Figura 1: Evolução anual das publicações científicas dos artigos selecionados. Fonte: Autores, (2026).

4.1. Categoria A: O Ambiente Institucional e a Direção da Busca (Função 4 e Função 7)

A análise revela que a direção do sistema é exógena. KONECZNA; CADER (2021); GRACZYK; BRUSILO; GRACZYK (2025) demonstram que a estratégia portuguesa (EN-H2) é um alinhamento direto com o *REPowerEU*. Embora CARVALHO *et al.* (2021); VIEIRA *et al.* (2025) projetem cenários futuros otimistas, a implementação enfrenta barreiras. LÉVEQUE *et al.* (2025) identificam que a incerteza regulatória sobre a definição de "hidrogénio renovável" (Atos Delegados da UE) está a atrasar as decisões de investimento. Adicionalmente, SANTOS *et al.* (2024) expõem a falta de políticas específicas para o armazenamento, enquanto GLACHANT; JOSKOW; POLLITT (2025) argumentam que metas nacionais sem mecanismos de leilão claros são insuficientes.

4.2. Categoria B: Capacidade de Absorção Técnica e Infraestrutural (Função 2 e Função 6)

Portugal demonstra uma robusta capacidade técnica. SILVA *et al.* (2024); ATTIAOUI *et al.* (2025) validam a abundância de recursos. BORGES *et al.* (2024) confirmam a viabilidade da escala de Gigawatts, e Magalhães *et al.* asseguram a resiliência destes recursos às alterações climáticas. No campo do conhecimento, REGO *et al.* (2024); MANSILHA *et al.* (2026) mostram que a academia domina as tecnologias de conversão e eletrólise. Quanto à infraestrutura, FONTOURA; SOARES; MOURAO (2024) validam tecnicamente a injeção de misturas na rede de gás, enquanto CAO *et al.* (2022) modelam o acoplamento setorial Ibérico. VIDAS; CASTRO (2021); DIAS; SANTOS; ALEXANDRE (2025) sugerem que o desafio principal reside agora na otimização matemática destas redes complexas.

4.3. Categoria C: Ligações Transnacionais e Cadeia de Valor (Função 3 e Função 5)

O sistema é estruturalmente orientado para a exportação. GARCIA *et al.* (2025); MARMULLAKU *et al.* (2025) modelam Portugal como um fornecedor de estabilidade sazonal para a Alemanha. A logística é explorada por PINTO; SIMOES; FORTES (2024); TANG (2026), que detalham os corredores de transporte necessários. Contudo, ARRIGONI *et al.* (2025) introduzem um dado crítico: as emissões do transporte marítimo de longa distância podem anular os benefícios climáticos do hidrogênio. Isto reforça a tese de SCHARNIGG; HAARSTAD (2025) sobre as "interdependências assimétricas", onde a periferia assume os riscos ambientais da produção e transporte.

4.4. Categoria D: Validação Econômica e o Social (Função 1 e Função 5)

Existe uma assimetria clara entre economia e sociedade. RODRIGUES *et al.* (2023); KIM; SONG; HA (2025); WEBER *et al.* (2025) confirmam a competitividade do Custo Nivelado (LCOH). No entanto, a experimentação prática, relatada por AZEVEDO *et al.* (2025) (Açores) e FERREIRA (2023) (Vidro), permanece em nichos. A maior fragilidade reside na legitimação. DOS REIS; RANGEL; NETO (2024), num estudo pioneiro de Ciclo de Vida Social, alertam que a sustentabilidade exige indicadores de bem-estar local. CAMPOS *et al.* (2022) argumentam que, sem processos de "Transição Justa", a implementação enfrentará resistência comunitária. A escassez de estudos nesta área indica que o sistema avançou na engenharia, mas se limitou, até agora, em assegurar a "licença social para operar".

5. Análises dos Resultados e Discussões

A Figura 2 esquematiza a arquitetura funcional do Sistema Tecnológico de Inovação do hidrogênio verde em Portugal, revelando uma dinâmica que não é espontânea, mas sim hierarquicamente estruturada em resposta a estímulos externos.

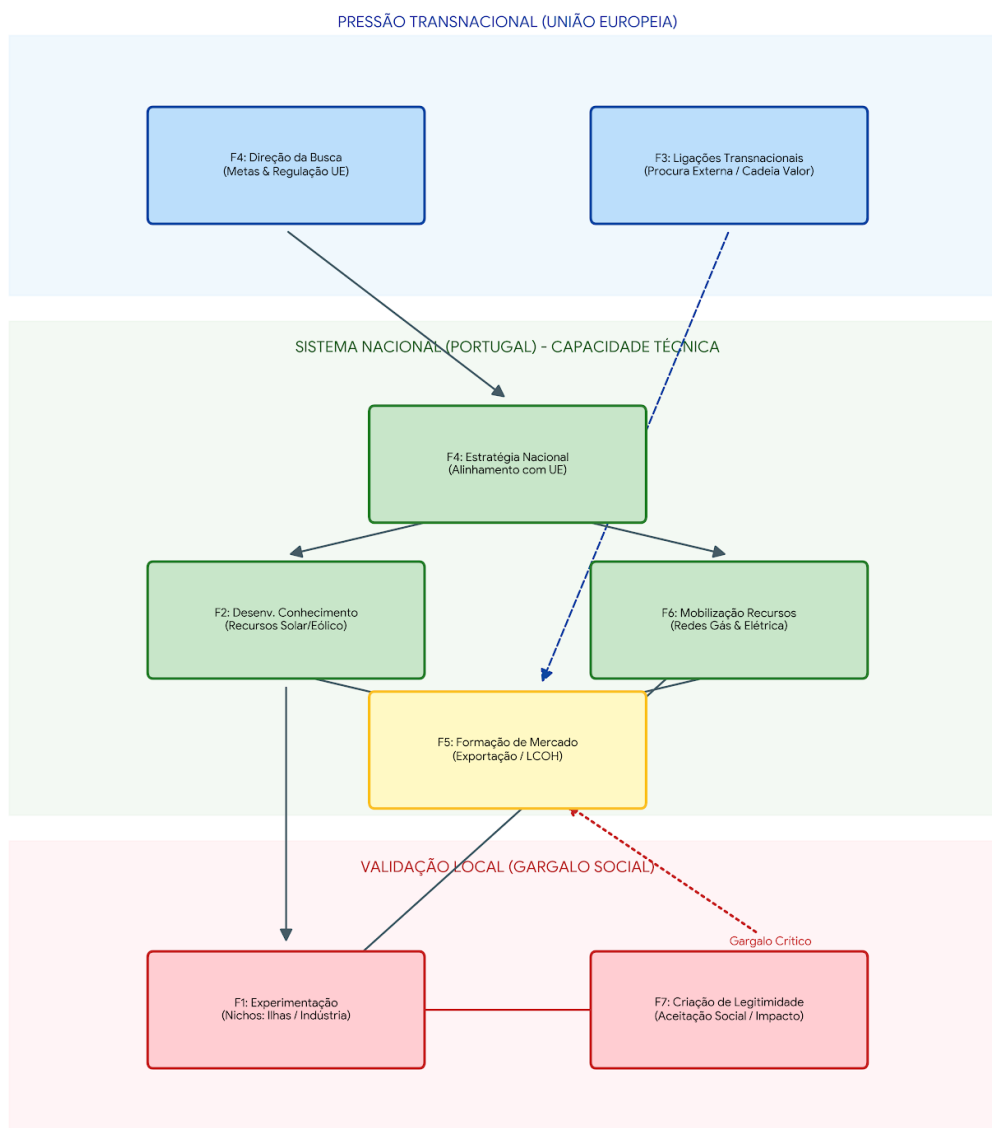


Figura 2: Arquitetura do Sistema Tecnológico de Inovação do Hidrogênio Verde em Portugal. Fonte: Autores, (2026).

No início da Figura 2 observa-se a função de Direção da Busca (F4) a atuar como o motor primário, exercendo uma pressão regulatória descendente (*top-down*) oriunda da União Europeia que define o ritmo e as metas da transição nacional. O núcleo do sistema responde a este comando através de uma robusta “capacidade de absorção”, representada pela simbiose entre o Desenvolvimento de Conhecimento (F2) e a Mobilização de Recursos (F6),

onde a competência académica e a infraestrutura física se alinham para viabilizar a oferta. Contudo, os vetores de saída evidenciam que a orientação estratégica do TIS é predominantemente voltada para o exterior, com as Ligações Transnacionais (F3) e a Formação de Mercado (F5) a projetarem-se para a exportação, em detrimento do consumo interno. Esta configuração gera uma assimetria crítica na base do sistema: a Legitimação (F7) e a Experimentação Local (F1) surgem subdimensionadas e desconectadas dos grandes fluxos de investimento, ilustrando visualmente o “gargalo social” onde a maturidade técnica da engenharia contrasta com a fragilidade da aceitação comunitária.

6. Considerações Finais

A presente revisão sistemática atingiu o seu objetivo central ao caracterizar a formação do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) do hidrogénio verde em Portugal como um processo marcado por uma dualidade estrutural. A resposta à pergunta de pesquisa revela que as ligações transnacionais e a capacidade de absorção doméstica interagem de forma assimétrica e hierarquizada: enquanto as pressões e oportunidades externas ditam o ritmo acelerado e a direção estratégica focada na exportação, a capacidade interna responde com uma robusta competência de engenharia e disponibilidade de recursos naturais.

Conclui-se, portanto, que o TIS português não é autónomo, mas funciona como um subsistema especializado na produção a montante (*upstream*) de uma cadeia de valor europeia mais ampla. Esta configuração gera um sistema tecnicamente avançado, validado por estudos de potencial eólico e solar, mas socialmente frágil, uma vez que a orientação para o mercado externo (*outward-looking*) têm avançado mais rapidamente do que a legitimação interna e a criação de cadeias de valor locais.

Recomenda-se que pesquisas futuras priorizem a análise da aceitação comunitária para evitar a replicação de dinâmicas extrativistas e garantir que o potencial nacional se traduza em valor local efetivo.

Referências

- ARRIGONI, A. et al. Techno-economic and life-cycle assessment comparisons of hydrogen delivery options. **Frontiers in Energy**, v. 19, n. 6, p. 1129-1142, 2025. ISSN 20951701 (ISSN). Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105018326948&doi=10.1007%2Fs11708-025-1041-1&partnerID=40&md5=3cc394b53d16100201255b5812b727f9> <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11708-025-1041-1.pdf> >.
- ATTIAOUI, M. et al. Techno-economic and GIS mapping of wind-driven hydrogen production in Portugal. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 151, p. 13, Jul 24 2025. ISSN 0360-3199. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:001524724800001 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319925031556?via%3Dihub> >.

AZEVEDO, L. et al. Energy Management in an Insular Region with Renewable Energy Sources and Hydrogen: The Case of Graciosa, Azores. **Energies**, v. 18, n. 19, p. 24, Sep 30 2025. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:001593557000001
https://mdpi-res.com/d_attachment/energies/energies-18-05196/article_deploy/energies-18-05196-v2.pdf?version=1759916621>.

BERGEK, A. et al. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. **Environmental innovation and societal transitions**, v. 16, p. 51-64, 2015. ISSN 2210-4224.

BERGEK, A. et al. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research policy**, v. 37, n. 3, p. 407-429, 2008. ISSN 0048-7333.

BORGES, R. P. et al. Green Hydrogen Production at the Gigawatt Scale in Portugal: A Technical and Economic Evaluation. **Energies**, v. 17, n. 7, p. 21, Apr 2024. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:001201027300001
https://mdpi-res.com/d_attachment/energies/energies-17-01638/article_deploy/energies-17-01638.pdf?version=1711714936>.

CAMPOS, I. et al. Structuring the problem of an inclusive and sustainable energy transition – A pilot study. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, 2022. ISSN 09596526 (ISSN). Disponível em: <
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85132776711&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2022.132763&partnerID=40&md5=c20f85546053996395daf6e78b53425a>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622023617?via%3Dihub>>.

CAO, Y. et al. The Iberian System through coupled simulation of Electrical and Natural Gas network system. 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of evolutionary economics**, v. 1, n. 2, p. 93-118, 1991. ISSN 0936-9937.

CARVALHO, F. et al. Prospects for carbon-neutral maritime fuels production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 326, p. 11, Dec 1 2021. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000727798400002>.

DA COSTA, D.; SILVA, G. J. C.; DE ASSUNÇÃO, M. A. Scopus vs. Web of Science: uma avaliação comparativa das principais bases de dados para a pesquisa acadêmica. **Cadernos do FNDE**, v. 4, n. 09, p. e0982-e0982, 2023. ISSN 2675-1925.

DIAS, A.; SANTOS, B. H.; ALEXANDRE, J. L. Genetic algorithm-based methodology for hydrogen network planning and optimization: application in a Portuguese national project. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 112, p. 554-573, Mar 25 2025. ISSN 0360-3199. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:001440687900001
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319925009917?via%3Dihub>>.

DOS REIS, R. A.; RANGEL, G. P.; NETO, B. Social life cycle assessment of green hydrogen production: Evaluating a projected Portuguese industrial production plant. **Renewable Energy**, v. 235, p. 21, Nov 2024. ISSN 0960-1481. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:001314572700001
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124013612?via%3Dihub>>.

FERREIRA, M. Scaling-up hydrogen to decarbonise glassmaking. **Glass International**, v. 46, n. 5, p. 24-25, 2023. ISSN 01437836 (ISSN). Disponível em: <
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85178449590&partnerID=40&md5=3c4aa50485837ec62422f958ac55b9d9>>.

FONTOURA, J.; SOARES, F. J.; MOURAO, Z. Effects of Temperature Variation on the Capacity of Gas Networks to Receive Injections of Green Hydrogen. 2024 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, 2024. Dubrovnik, CROATIA. Ieee, Oct 14-17 2024.

GARCIA, J. F. et al. Seasonality impact in green hydrogen imports to Europe. 21st International Conference on the European Energy Market-EEM-Annual, 2025. Lisbon, PORTUGAL. Ieee, May 27-29 2025.

GLACHANT, J.-M.; JOSKOW, P. L.; POLLITT, M. G. Introduction to the Handbook on Electricity Regulation. In: (Orgs.). **Handbook on Electricity Regulation**: Edward Elgar Publishing, 2025. p.1-16. ISBN 1035314355.

GRACZYK, A.; BRUSILO, P.; GRACZYK, A. M. Hydrogen as a Renewable Fuel of Non-Biological Origins in the European Union-The Emerging Market and Regulatory Framework. **Energies**, v. 18, n. 3, p. 36, Feb 2025. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:001418470300001
https://mdpi-res.com/d_attachment/energies/energies-18-00617/article_deploy/energies-18-00617-v2.pdf?version=1739172537>.

HEKKERT, M. P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological forecasting and social change**, v. 74, n. 4, p. 413-432, 2007. ISSN 0040-1625.

HERBERT, T. L. EndNote 5 for windows. **Journal of chemical information and computer sciences**, v. 42, n. 1, p. 134-135, 2002. ISSN 0095-2338.

HOSSEINI, M.-S. et al. Formulating research questions for evidence-based studies. **Journal of Medicine, Surgery, and Public Health**, v. 2, p. 100046, 2024. ISSN 2949-916X.

KIM, H.; SONG, G.; HA, Y. Green hydrogen export potential in each Southeast Asian country based on exportable volumes and levelized cost of hydrogen. **Applied Energy**, v. 383, p. 13, Apr 1 2025. ISSN 0306-2619. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:001407363300001>.

KONECZNA, R.; CADER, J. Hydrogen in the Strategies of the European Union Member States. **Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management**, v. 37, n. 3,

p. 53-73, 2021 2021. ISSN 0860-0953. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000703002000003

<https://journals.pan.pl/Content/120898/Koneczna-Cader.pdf>>.

LÉVEQUE, C. et al. Exploring the outcomes of low-carbon hydrogen regulation in the EU. 21st International Conference on the European Energy Market-EEM-Annual, 2025. Lisbon, PORTUGAL. Ieee, May 27-29 2025.

MANSILHA, C. et al. A comprehensive review of green hydrogen production technologies: current status, challenges, research trends and future directions. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 225, p. 20, Jan 2026. ISSN 1364-0321. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:001583364100003 >.

MARKARD, J.; TRUFFER, B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. **Research policy**, v. 37, n. 4, p. 596-615, 2008. ISSN 0048-7333.

MARMULLAKU, D. et al. Opportunities of European Hydrogen Supply Potentials for Germany's Hydrogen Market. 21st International Conference on the European Energy Market-EEM-Annual, 2025. Lisbon, PORTUGAL. Ieee, May 27-29 2025.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic reviews**, v. 4, n. 1, p. 1, 2015. ISSN 2046-4053.

MUSIOLIK, J.; MARKARD, J.; HEKKERT, M. Networks and network resources in technological innovation systems: Towards a conceptual framework for system building. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 6, p. 1032-1048, 2012. ISSN 0040-1625.

PINTO, M. C.; SIMOES, S. G.; FORTES, P. How can green hydrogen from North Africa support EU decarbonization? Scenario analyses on competitive pathways for trade. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 79, p. 305-318, Aug 19 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:001268862000001 >.

PLAN, R.; KATTNIG, T.; RIBBE, L. REPowerEU Plan. **Commission, Brussels, Belgium**, 2022.

PNEC. **PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030**. 2024. Disponível em: < https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/20241118_pnec2030_para_aprov_ar.pdf >. Acesso em: Jan 2026.

REGO, G. et al. A Review of Hydrogen Production Methods and Power Electronics Converter Topologies for Green Hydrogen Applications. **Energies**, v. 17, n. 22, p. 22, Nov 2024. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:001364371700001 https://mdpi-res.com/d_attachment/energies/energies-17-05579/article_deploy/energies-17-05579.pdf?version=1731055260 >.

RODRIGUES, L. M. et al. Economic Analysis of a Hydrogen Power Plant in the Portuguese Electricity Market. **Energies**, v. 16, n. 3, p. 17, Feb 2023. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000932559700001

https://mdpi-res.com/d_attachment/energies/energies-16-01506/article_deploy/energies-16-01506.pdf?version=1675414428 >.

SANTOS, B. H. et al. Public policies to foster green hydrogen seasonal storage: Portuguese study case model until 2040. **Energy Strategy Reviews**, v. 52, p. 22, Mar 2024. ISSN 2211-467X. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:001219089300001 >.

SCHARNIGG, R.; HAARSTAD, H. Geopolitics of renewables: asymmetries, new interdependencies, and cooperation around Portuguese solar energy and green hydrogen strategies. **Energy Strategy Reviews**, v. 62, 2025. ISSN 2211467X (ISSN). Disponível em: <

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105020854772&doi=10.1016%2Fj.esr.2025.101950&partnerID=40&md5=6abfdf63a36d9caf092eb1c7ea8dc0a7> >.

SILVA, H. G. et al. Determination of photovoltaic hydrogen production potential in Portugal: a techno-economic analysis. **Frontiers in Energy Research**, v. 12, p. 16, Jul 18 2024. ISSN 2296-598X. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:001281195700001

<https://public-pages-files-2025.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2024.1380543/pdf> >.

TANG, O. Logistics planning and cost analysis of green hydrogen refueling stations in Europe. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 205, 2026. ISSN 13665545 (ISSN). Disponível em: <

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105020963636&doi=10.1016%2Fj.tre.2025.104519&partnerID=40&md5=562535286a0530a75abfac8cf43cf745> >.

VIDAS, L.; CASTRO, R. Recent Developments on Hydrogen Production Technologies: State-of-the-Art Review with a Focus on Green-Electrolysis. **Applied Sciences-Basel**, v. 11, n. 23, p. 27, Dec 2021. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000742008100001 >.

VIEIRA, M. et al. Foresighting Scenarios for Green Hydrogen in Portugal: Systematization of Potential Futures and Identification of Bottlenecks and Constraints. **Futures and Foresight Science**, v. 7, n. 3, 2025.

VISSER, M.; VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. **Quantitative science studies**, v. 2, n. 1, p. 20-41, 2021. ISSN 2641-3337.

WEBER, N. et al. Economic Viability of Green Hydrogen Production in European Energy Systems. International Conference on the European Energy Market, EEM, 2025. IEEE Computer Society.