

Hidrogênio verde, hubs logísticos e desenvolvimento regional no Brasil: Uma revisão integrativa da literatura

Alex Pereira da Cunha

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP-FEIS)

E-mail: alex.cunha@unesp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4561-962X>

RESUMO

A crescente relevância do hidrogênio verde no contexto da transição energética global tem ampliado o debate sobre seus impactos econômicos, territoriais e institucionais. Para além de seu papel na descarbonização, o hidrogênio verde tem sido associado à reorganização de cadeias produtivas e à formação de hubs e corredores logísticos, com implicações para o desenvolvimento regional. Este artigo analisa como a estruturação desses arranjos tem sido relacionada ao desenvolvimento regional na literatura científica recente, com ênfase em países emergentes e no Brasil. Metodologicamente, adotou-se uma revisão integrativa da literatura, orientada pelas diretrizes do PRISMA 2020 e pela estratégia PCC. Foram analisados 49 estudos publicados entre 2020 e 2025, identificados por meio de busca estruturada em bases científicas internacionais e regionais. Os resultados indicam que hubs de hidrogênio verde podem impulsionar reindustrialização verde, atração de investimentos e fortalecimento de capacidades produtivas locais, desde que associados a políticas públicas integradas, planejamento territorial e governança multiescalar. Contudo, a literatura aponta riscos de enclaves energéticos em contextos de frágil coordenação institucional.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde. Hubs Logísticos. Corredores Logísticos. Desenvolvimento Regional. Transição Energética.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças climáticas e os compromissos internacionais de neutralidade de carbono têm impulsionado uma reconfiguração estrutural dos sistemas energéticos globais, com crescente ênfase em soluções capazes de descarbonizar setores industriais e logísticos de difícil eletrificação direta. Nesse contexto, o hidrogênio verde — produzido por eletrólise da água a partir de fontes renováveis — tem sido amplamente reconhecido como um vetor energético estratégico para a transição energética, especialmente em aplicações industriais, químicas e no transporte pesado e marítimo (DAWOOD et al., 2023; WANG et al., 2023).

Estudos recentes indicam que a viabilidade econômica do hidrogênio verde tem avançado de forma significativa em razão da redução dos custos da geração solar e eólica, do progresso tecnológico dos eletrolisadores e da ampliação das políticas públicas de incentivo em diferentes regiões do mundo (AJANOVIC; HAAS, 2023; IEA, 2024). Segundo Wang et al. (2023), países com elevada disponibilidade de recursos renováveis e acesso a infraestrutura logística estratégica tendem a ocupar posições centrais nas futuras cadeias globais de valor do hidrogênio, sobretudo no comércio internacional de derivados como

amônia verde e combustíveis sintéticos.

Nesse cenário, o Brasil destaca-se como um ator potencialmente relevante, em função de sua matriz elétrica majoritariamente renovável, elevada irradiação solar, regimes de ventos favoráveis e extensa costa com portos aptos à exportação. Pesquisas recentes apontam que essas características colocam o país em posição competitiva para a produção de hidrogênio verde em larga escala, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste, onde se concentram projetos emergentes de parques energéticos integrados e terminais portuários dedicados (RIBEIRO et al., 2024; SILVA; LEITE; FERREIRA, 2023).

A literatura contemporânea enfatiza que a consolidação do hidrogênio verde como vetor de desenvolvimento depende fortemente da organização territorial da produção e da logística. Conceitos como hydrogen hubs e corredores logísticos verdes emergem como elementos centrais dessa estruturação, ao integrar geração renovável, produção, armazenamento, consumo industrial e exportação em arranjos territoriais coordenados. Conforme argumentam Ajanovic e Haas (2023) e Heuser et al. (2024), os hubs permitem ganhos de escala, compartilhamento de infraestrutura e redução de riscos, enquanto os corredores logísticos conectam esses polos a mercados nacionais e internacionais, ampliando a previsibilidade comercial e a atratividade para investimentos.

Sob a perspectiva do desenvolvimento regional, a implantação de hubs e corredores de hidrogênio verde apresenta potencial para induzir processos de dinamização econômica, reindustrialização territorial e geração de empregos qualificados. Estudos recentes indicam que esses projetos podem fortalecer cadeias produtivas locais, estimular inovação tecnológica e ampliar receitas fiscais em regiões historicamente periféricas (RIBEIRO et al., 2024; WANG et al., 2023). Contudo, a literatura também alerta que tais benefícios não são automáticos, dependendo de políticas públicas integradas, planejamento territorial estratégico e mecanismos de governança capazes de evitar a concentração de ganhos e a reprodução de desigualdades regionais (SANTOS; PEREIRA, 2024).

No Brasil, projetos em desenvolvimento em portos como Pecém (CE) e Açu (RJ) têm sido analisados como casos emblemáticos da articulação entre energia renovável, infraestrutura portuária e estratégias de inserção internacional do país na economia do hidrogênio. Estudos empíricos recentes destacam tanto o potencial desses arranjos para o desenvolvimento regional quanto os desafios regulatórios, institucionais e logísticos ainda existentes, especialmente no que se refere à coordenação federativa, ao licenciamento ambiental e à infraestrutura de transporte e armazenamento (SILVA; LEITE; FERREIRA, 2023; RIBEIRO et al., 2024).

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo analisar como a estruturação de hubs e corredores logísticos de hidrogênio verde pode contribuir para o desenvolvimento regional no Brasil. Para isso, adota-se uma revisão integrativa da literatura científica recente (2023–2025) e de documentos técnicos de acesso aberto, buscando identificar evidências sobre impactos socioeconômicos, requisitos de

infraestrutura e modelos de governança capazes de potencializar os benefícios territoriais associados à transição energética baseada no hidrogênio renovável. Diferentemente de revisões centradas em aspectos tecnológicos ou de mercado, este estudo contribui ao integrar a literatura sobre hidrogênio verde a abordagens de desenvolvimento regional e governança territorial, com foco no Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste estudo articula contribuições da literatura sobre transição energética, economia política da energia, geografia econômica e desenvolvimento regional, com o objetivo de estabelecer uma ponte analítica clara entre os fundamentos conceituais do hidrogênio verde e as evidências empíricas observadas em diferentes contextos territoriais, especialmente no Brasil e na América Latina. A seção foi estruturada de forma mais sintética e integrada, buscando evitar sobreposições conceituais e reforçar a conexão entre teoria e prática.

2.1 HIDROGÊNIO VERDE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: FUNDAMENTOS E EVIDÊNCIAS

A literatura recente reconhece o hidrogênio verde como um vetor estratégico para a descarbonização de setores intensivos em energia e de difícil eletrificação direta, como siderurgia, química pesada, transporte marítimo e aviação (DAWOOD et al., 2023; VAN DER ZWAAN et al., 2023). Mais do que uma solução tecnológica isolada, o hidrogênio verde tem sido interpretado como elemento estruturante de uma reconfiguração sistêmica dos sistemas energéticos e produtivos, associada ao avanço das energias renováveis e ao acoplamento setorial (sector coupling).

Estudos empíricos recentes demonstram que a competitividade do hidrogênio verde é fortemente condicionada por fatores territoriais, como disponibilidade de recursos renováveis, infraestrutura existente, acesso à água e proximidade a mercados consumidores ou rotas de exportação (MENDELEVITCH; HUENTELER; OSSENBRINK, 2023; AJANOVIC; HAAS, 2023). Essas evidências reforçam abordagens da geografia econômica que destacam o papel do território na conformação de novas vantagens competitivas na transição energética.

No contexto latino-americano, pesquisas indicam que países como Brasil, Chile e Argentina apresentam condições naturais favoráveis para a produção de hidrogênio verde em larga escala, mas enfrentam desafios institucionais e de coordenação de políticas para transformar esse potencial em desenvolvimento econômico sustentado (QUITZOW et al., 2024; GÓMEZ et al., 2024; LÓPEZ et al., 2023). Esses estudos empíricos corroboram a literatura teórica ao evidenciar que a transição energética baseada no hidrogênio tende a reproduzir ou reconfigurar desigualdades espaciais preexistentes, caso não seja acompanhada por políticas deliberadas de desenvolvimento regional.

2.2 HUBS DE HIDROGÊNIO E CORREDORES LOGÍSTICOS: ARRANJOS TERRITORIAIS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

A consolidação do hidrogênio verde como vetor econômico depende da organização territorial da infraestrutura de produção, armazenamento, transporte e consumo. Nesse sentido, a literatura internacional destaca os hydrogen hubs como arranjos territoriais capazes de reduzir custos, compartilhar riscos e acelerar a formação de mercados, por meio da concentração espacial de ativos energéticos e industriais (HEUSER et al., 2024; TRINOMICS, 2024).

Evidências empíricas oriundas da Europa e da Austrália indicam que hubs integrados favorecem economias de escala, aprendizado tecnológico e atração de investimentos, especialmente quando associados a demandas industriais locais e contratos de longo prazo (SCHOLTEN; CRIEKEMANS; VAN DE GRAAF, 2024). Entretanto, estudos aplicados em países emergentes alertam que, na ausência de coordenação entre política energética, logística e industrial, esses hubs podem se limitar a plataformas de exportação com fracos encadeamentos produtivos locais (GLENK; REICHELSTEIN, 2023).

No caso brasileiro, análises empíricas sobre os portos de Pecém (CE) e Açu (RJ) demonstram que a proximidade entre fontes renováveis, infraestrutura portuária e zonas industriais cria condições favoráveis à formação de hubs de hidrogênio verde, mas evidencia gargalos relacionados à governança federativa, licenciamento ambiental e infraestrutura logística complementar (SILVA; LEITE; FERREIRA, 2023; RIBEIRO et al., 2024). Esses achados reforçam a necessidade de interpretar os hubs não apenas como soluções técnicas, mas como construções institucionais e territoriais.

Os corredores logísticos verdes desempenham papel complementar ao conectar hubs produtivos a mercados nacionais e internacionais. Estudos recentes mostram que a previsibilidade logística e a padronização regulatória são fatores decisivos para viabilizar o comércio de derivados do hidrogênio, como amônia verde, especialmente em países exportadores (QUITZOW et al., 2024).

2.3 HIDROGÊNIO VERDE, GOVERNANÇA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

A relação entre hidrogênio verde e desenvolvimento regional tem sido analisada a partir de abordagens da economia política da transição energética, que enfatizam o papel da governança, das políticas públicas e das capacidades institucionais locais. A literatura converge ao indicar que os benefícios territoriais do hidrogênio verde não são automáticos, dependendo da forma como os projetos são inseridos em estratégias mais amplas de desenvolvimento regional e industrial (BALL; LEMA, 2024; SOVACOOL et al., 2023).

Estudos empíricos em países emergentes mostram que projetos orientados exclusivamente à exportação tendem a gerar enclaves energéticos, com impactos limitados sobre emprego, inovação e renda locais. Em contraste, experiências associadas a políticas de conteúdo local, capacitação de mão de obra e

integração com cadeias produtivas regionais apresentam maior potencial de induzir reindustrialização verde e diversificação econômica (SANTOS; PEREIRA, 2024; RIBEIRO et al., 2024).

No contexto brasileiro, a literatura recente destaca que o hidrogênio verde pode atuar como instrumento estratégico de desenvolvimento regional, sobretudo no Nordeste, desde que articulado a políticas territoriais, planejamento de longo prazo e governança multiescalar envolvendo União, estados, municípios e atores privados (FURTADO et al., 2023; NASCIMENTO et al., 2023).

Em síntese, o referencial teórico evidencia que o hidrogênio verde deve ser compreendido como um fenômeno socioeconômico e territorial, cuja capacidade de promover desenvolvimento regional depende da articulação entre infraestrutura, governança e políticas públicas. Essa perspectiva orienta a análise empírica desenvolvida nas seções seguintes. Esses elementos fundamentam a estratégia metodológica adotada na revisão integrativa, descrita a seguir.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma revisão integrativa da literatura, abordagem metodológica adequada para sintetizar e analisar criticamente evidências provenientes de estudos empíricos, teóricos e documentos técnico-institucionais em campos emergentes e interdisciplinares. A escolha dessa metodologia justifica-se pelo caráter ainda recente e multifacetado do debate sobre hidrogênio verde, hubs logísticos e desenvolvimento regional, no qual coexistem análises econômicas, territoriais, institucionais e de política pública (WHITTEMORE; KNAFL, 2005; TORRACO, 2020).

A condução da revisão seguiu as diretrizes do PRISMA 2020, adaptadas ao escopo de revisões integrativas, com o objetivo de assegurar transparência, rastreabilidade e reproduzibilidade do processo de busca, seleção e análise dos estudos (PAGE et al., 2021). A adoção do PRISMA, embora originalmente voltada a revisões sistemáticas, é amplamente recomendada para fortalecer o rigor metodológico em revisões integrativas, especialmente em áreas em consolidação (SNYDER, 2019).

3.1 QUESTÃO DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA DA ESTRATÉGIA PCC

A revisão foi orientada pela seguinte questão de pesquisa:

Como a estruturação de hubs e corredores logísticos de hidrogênio verde tem sido associada ao desenvolvimento regional na literatura científica recente, especialmente no contexto de países emergentes e do Brasil?

Para estruturar essa questão e orientar de forma coerente a estratégia de busca, adotou-se o modelo PCC (População, Conceito e Contexto), recomendado para revisões de escopo e integrativas por permitir maior flexibilidade conceitual em comparação a modelos mais restritivos (PETERS et al., 2020).

A escolha da estratégia PCC justifica-se pela natureza territorial e institucional do fenômeno

analisado, que não se restringe a um grupo populacional específico, mas envolve regiões, sistemas produtivos e arranjos espaciais. Assim, definiu-se:

População (P): regiões, territórios e sistemas produtivos afetados pela implantação de infraestrutura de hidrogênio verde;

Conceito (C): hidrogênio verde, hubs de hidrogênio, corredores logísticos, infraestrutura energética e cadeias de valor;

Contexto (C): desenvolvimento regional, transição energética e economias emergentes, com ênfase no Brasil.

Essa estrutura permitiu alinhar a pergunta de pesquisa, os descritores utilizados e os critérios de seleção, garantindo coerência entre os objetivos do estudo e o corpus analisado.

3.2 BASES DE DADOS E ESTRATÉGIA DE BUSCA

As buscas bibliográficas foram realizadas entre janeiro e setembro de 2025 nas bases Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar (como fonte complementar). A escolha dessas bases fundamenta-se em critérios de cobertura temática, relevância acadêmica e representatividade regional.

Scopus e Web of Science foram selecionadas por sua ampla cobertura internacional e forte indexação de periódicos nas áreas de energia, economia regional e políticas públicas. A base SciELO foi incluída para captar a produção científica latino-americana e brasileira, frequentemente sub-representada em bases internacionais. O Google Scholar foi utilizado de forma complementar, com limitação às primeiras 200 entradas ordenadas por relevância, visando identificar literatura cinzenta qualificada e relatórios institucionais relevantes.

As estratégias de busca combinaram descritores em português, inglês e espanhol, operadores booleanos e truncamentos, conforme o exemplo:

("green hydrogen" OR "renewable hydrogen") AND ("hydrogen hub" OR corridor* OR infrastructure OR "value chain") AND ("regional development" OR "territorial development") AND (Brazil OR Brasil)

Foram aplicados filtros de período (2020–2025), idiomas (português, inglês e espanhol) e tipo de documento (artigos revisados por pares, revisões e relatórios técnicos de instituições reconhecidas). A opção por publicações a partir de 2020 justifica-se pelo caráter recente da consolidação do hidrogênio verde como agenda de política pública e objeto de pesquisa aplicada, garantindo a atualidade e relevância dos achados.

3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO, EXCLUSÃO E PROCESSO DE SELEÇÃO

Os critérios de inclusão contemplaram: (i) estudos que abordassem explicitamente o hidrogênio verde; (ii) análises que relacionassem infraestrutura, hubs, logística ou cadeias de valor a impactos

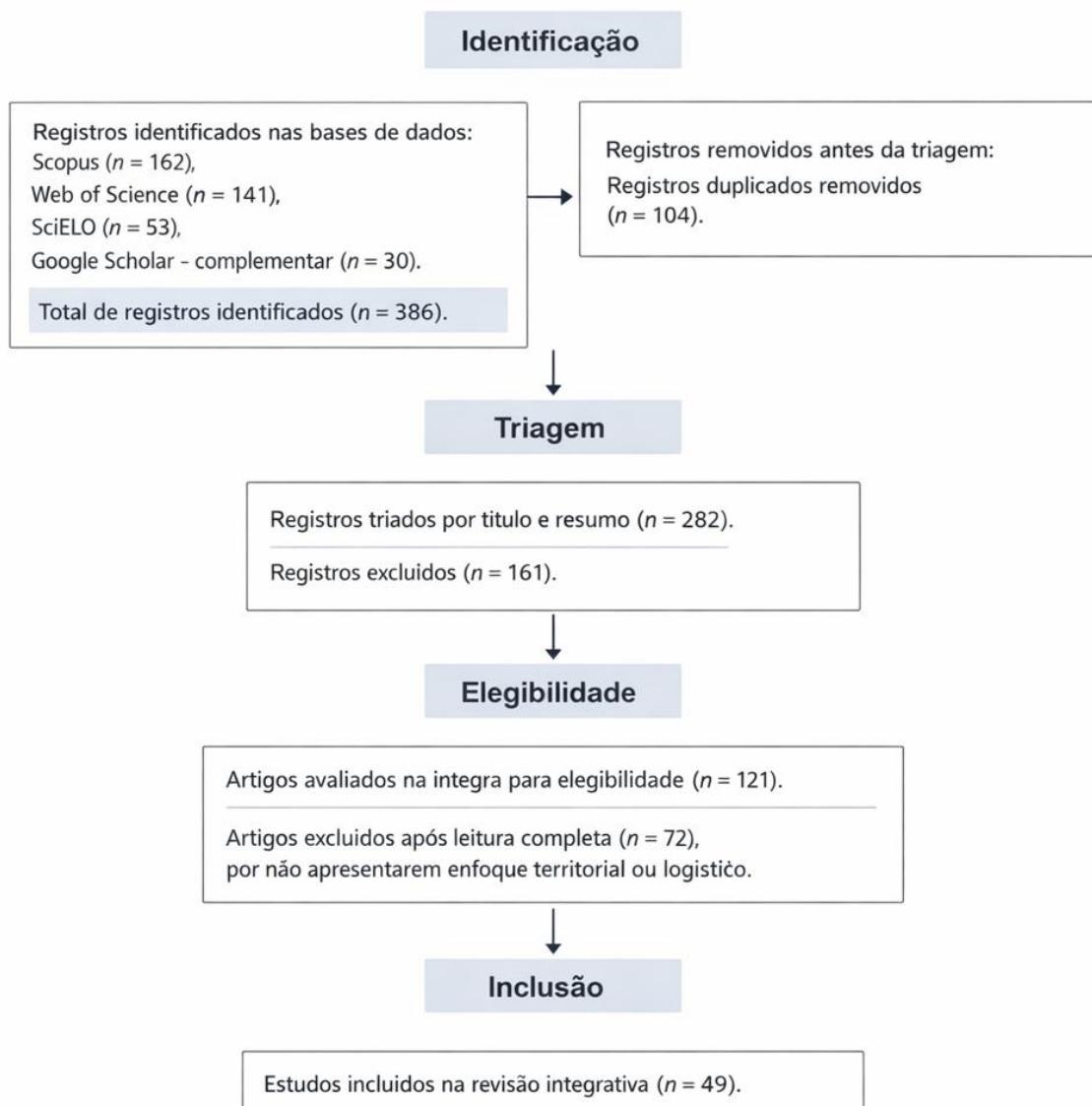
territoriais ou regionais; (iii) publicações revisadas por pares ou relatórios técnicos institucionais; e (iv) disponibilidade do texto completo.

Foram excluídos estudos focados exclusivamente em hidrogênio fóssil ou azul, pesquisas estritamente laboratoriais sem conexão territorial, publicações duplicadas e textos sem acesso integral.

O processo de seleção seguiu as quatro etapas do PRISMA 2020: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. Inicialmente, foram identificados 386 registros. Após a remoção de 104 duplicatas, procedeu-se à leitura de títulos e resumos ($n = 282$), resultando na exclusão de 161 registros fora do escopo. Dos 121 estudos avaliados na íntegra, 72 foram excluídos por não apresentarem aderência suficiente ao enfoque territorial e logístico, culminando em um corpus final de 49 estudos.

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos seguiu as diretrizes do PRISMA 2020, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA 2020 do processo de seleção dos estudos da revisão integrativa.



Fonte: Elaboração própria (2025), com base nas diretrizes PRISMA 2020.

A triagem foi realizada assegurando confiabilidade ao processo de seleção (KITCHENHAM et al., 2020).

3.4 EXTRAÇÃO, ANÁLISE DOS DADOS E ARTICULAÇÃO COM RESULTADOS

A extração dos dados foi realizada por meio de planilha padronizada, contendo informações sobre autoria, ano, país, tipo de estudo, objeto empírico, tipo de infraestrutura analisada (hubs, portos, corredores) e principais resultados.

A análise qualitativa seguiu a técnica de análise de conteúdo temática (BARDIN, 2011), permitindo identificar categorias analíticas recorrentes, tais como: (i) hubs de hidrogênio como vetores de reindustrialização verde; (ii) corredores logísticos e inserção internacional; (iii) governança, políticas públicas e riscos de enclaves energéticos.

Essas categorias orientaram diretamente a apresentação dos resultados na Seção 4, na qual são discutidos exemplos concretos de reindustrialização verde associados a hubs logísticos e portos — como os casos de Pecém (CE) e Açu (RJ) — identificados na literatura analisada. Dessa forma, a metodologia não apenas organiza o corpus, mas estrutura analiticamente a discussão dos impactos práticos do hidrogênio verde sobre o desenvolvimento regional.

Para assegurar rigor metodológico, foram adotados critérios de transparência, coerência analítica e rastreabilidade, conforme recomendado por Torraco (2020) e Snyder (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise integrada dos 49 estudos incluídos na revisão evidencia que o hidrogênio verde tem sido crescentemente interpretado na literatura não apenas como uma solução tecnológica para a descarbonização, mas como um elemento estruturante de novos arranjos territoriais, produtivos e institucionais.

Contudo, a discussão dos resultados permite avançar para além da identificação de potencialidades, aprofundando uma leitura crítica sobre os limites, lacunas e condicionantes que moldam os efeitos do hidrogênio verde sobre o desenvolvimento regional.

A Tabela 1 sintetiza as principais categorias analíticas e evidências identificadas na literatura revisada, relacionando hubs de hidrogênio, corredores logísticos e desenvolvimento regional.

Tabela 1 – Síntese analítica dos principais achados da literatura sobre hidrogênio verde, hubs logísticos e desenvolvimento regional

Categoria analítica	Principais evidências identificadas na literatura	Implicações para o desenvolvimento regional	Referências representativas
Hubs de hidrogênio verde como vetores de reindustrialização verde	<p>A literatura indica que hubs integrados de hidrogênio verde favorecem economias de escala, compartilhamento de infraestrutura e redução de riscos, além de estimular atração de investimentos industriais e a inovação tecnológica, especialmente quando associados a demandas industriais locais (siderurgia, fertilizantes, química).</p>	<p>Potencial de reindustrialização verde, diversificação produtiva regional e geração de empregos qualificados, condicionado à articulação com políticas industriais e tecnológicas.</p>	Heuser et al. (2024); Ribeiro et al. (2024); Ajanovic e Haas (2023); Furtado et al. (2023)
Corredores logísticos verdes e inserção internacional	<p>Estudos destacam que corredores logísticos são essenciais para viabilizar o transporte e a exportação de derivados do hidrogênio (especialmente amônia verde), aumentando previsibilidade comercial e competitividade internacional.</p>	<p>Ampliação da inserção internacional das regiões produtoras, com risco de dependência exportadora se não houver integração com mercados internos e cadeias produtivas locais.</p>	Quitzow et al. (2024); Wang et al. (2023); Scholten et al. (2024); Trinomics (2024)
Governança multiescalar e coordenação institucional	<p>Contudo, gargalos regulatórios e ausência de planejamento intermodal limitam sua efetividade em países emergentes.</p> <p>A literatura converge ao apontar que a fragmentação institucional entre políticas energética, industrial,</p>	<p>Regiões com maior capacidade institucional e coordenação tendem a capturar maiores benefícios socioeconômicos; ausência de governança integrada aumenta riscos de projetos pouco inclusivos.</p>	Ball e Lema (2024); Sovacool et al. (2023); Santos e Pereira (2024); Nascimento et al. (2023)

Riscos de enclaves energéticos e concentração de benefícios	<p>ambiental e logística compromete os benefícios territoriais dos projetos de hidrogênio verde. Arranjos de governança multiescalar e coordenação federativa são considerados determinantes críticos de sucesso. Parte significativa da literatura alerta que projetos orientados predominantemente à exportação podem gerar enclaves energéticos, com fracos encadeamentos produtivos locais, baixa geração de emprego e limitada transferência de capacidades tecnológicas.</p>	<p>Possível reprodução de desigualdades regionais e inserção periférica nas cadeias globais de valor do hidrogênio, caso não existam instrumentos deliberados de inclusão produtiva.</p>	Ball e Lema (2024); Santos e Pereira (2024); López et al. (2023); Gómez et al. (2024)
Integração com cadeias produtivas locais e políticas industriais	<p>Evidências indicam que os impactos positivos do hidrogênio verde são ampliados quando projetos são integrados a clusters industriais existentes e acompanhados por políticas de conteúdo local, capacitação de mão de obra e apoio à inovação.</p>	<p>Fortalecimento de capacidades produtivas regionais, maior retenção de valor econômico no território e estímulo à inovação industrial verde.</p>	Ribeiro et al. (2024); Furtado et al. (2023); UNIDO (2024); Nascimento et al. (2023)
Infraestrutura territorial e vantagens locacionais	<p>A competitividade territorial do hidrogênio verde depende da disponibilidade de recursos renováveis, infraestrutura portuária, acesso à água e conectividade logística. Regiões costeiras com</p>	<p>Consolidação de polos regionais estratégicos (especialmente em regiões costeiras), desde que acompanhada por planejamento territorial e licenciamento ambiental eficiente.</p>	Silva, Leite e Ferreira (2023); Mendelevitch et al. (2023); IEA (2024); Hansen et al. (2024)

portos estruturados
apresentam
vantagens
comparativas, mas
enfrentam desafios
regulatórios e
ambientais.

Fonte: Elaboração própria (2025), com base na revisão integrativa da literatura.

A caracterização detalhada dos estudos incluídos encontra-se no Apêndice A (Tabela A1).

Um primeiro aspecto crítico refere-se à recorrente dissociação entre ambições tecnológicas e estratégias territoriais. Embora a maioria dos estudos reconheça o papel dos hubs de hidrogênio como indutores de economias de escala e redução de custos, parcela significativa da literatura aponta que esses arranjos têm sido concebidos predominantemente a partir de lógicas energéticas e industriais, com limitada integração a políticas de desenvolvimento regional. Essa lacuna resulta, em muitos casos, em projetos fortemente orientados à exportação, com fracos encadeamentos produtivos locais e reduzida capacidade de geração de emprego e renda nos territórios de implantação.

A literatura também evidencia falhas recorrentes nos modelos de governança associados aos projetos de hidrogênio verde. Estudos empíricos indicam que a fragmentação institucional — expressa na baixa coordenação entre políticas energética, industrial, ambiental e logística — compromete a materialização dos benefícios territoriais esperados. Em países emergentes, essa fragmentação tende a ser agravada por assimetrias de capacidade estatal entre níveis de governo, resultando em processos decisórios centralizados e limitada participação de atores regionais e locais.

Outro ponto crítico diz respeito às infraestruturas logísticas e institucionais. Embora portos e corredores logísticos sejam frequentemente apresentados como ativos estratégicos, a literatura revela que gargalos regulatórios, indefinições normativas e ausência de planejamento intermodal limitam a operacionalização desses corredores. No caso brasileiro, estudos sobre Pecém e Açu demonstram que, apesar das vantagens locacionais, persistem desafios relacionados ao licenciamento ambiental, à integração ferroviária e rodoviária e à definição de marcos regulatórios específicos para transporte e exportação de derivados do hidrogênio.

No que se refere à reindustrialização verde, os resultados sugerem que seu potencial permanece condicionado à existência de políticas industriais explícitas. A literatura identifica experiências incipientes em que hubs de hidrogênio são articulados a clusters industriais existentes — como siderurgia, fertilizantes e química — gerando efeitos de diversificação produtiva e inovação. Todavia, tais experiências ainda são exceções, e não a regra, sobretudo em países exportadores de recursos naturais, onde prevalece o risco de reprodução de uma inserção periférica nas cadeias globais de valor do hidrogênio.

Em síntese, a discussão dos resultados indica que as lacunas identificadas na literatura não decorrem

de limitações tecnológicas do hidrogênio verde, mas de falhas institucionais, de governança e de articulação territorial. Esses achados reforçam a necessidade de compreender o hidrogênio verde como uma política de desenvolvimento, e não apenas como uma agenda energética.

5 CONCLUSÃO

Este artigo analisou, por meio de uma revisão integrativa da literatura científica, como a estruturação de hubs e corredores logísticos de hidrogênio verde tem sido associada ao desenvolvimento regional, com ênfase em países emergentes e no contexto brasileiro. A análise de 49 estudos publicados entre 2020 e 2025 permitiu sistematizar evidências sobre o potencial econômico, territorial e institucional do hidrogênio verde, bem como identificar condicionantes críticos para a efetiva materialização de seus benefícios regionais.

De forma sintética, os resultados indicam que o hidrogênio verde pode atuar como vetor de reindustrialização verde, atração de investimentos e fortalecimento de capacidades produtivas locais, especialmente quando organizado em arranjos territoriais integrados, como hubs e corredores logísticos estruturados. Contudo, a literatura converge ao demonstrar que tais benefícios não são automáticos e dependem da articulação deliberada entre políticas energéticas, industriais, logísticas e de desenvolvimento regional. Projetos orientados predominantemente à exportação, sem mecanismos de inclusão produtiva e planejamento territorial de longo prazo, tendem a reproduzir dinâmicas de enclaves energéticos e concentração de benefícios.

No caso brasileiro, os estudos analisados evidenciam uma combinação singular de oportunidades e desafios. A abundância de recursos renováveis e a presença de infraestrutura portuária estratégica posicionam o país de forma competitiva nas cadeias globais de valor do hidrogênio verde. Entretanto, persistem limitações associadas à coordenação institucional, à governança multiescalar e à definição de instrumentos de política pública capazes de promover encadeamentos produtivos locais e maior inclusão socioeconômica, especialmente em regiões periféricas como o Nordeste.

À luz desses achados, o artigo aponta implicações relevantes para a formulação de políticas públicas. Destaca-se a necessidade de integrar explicitamente a agenda do hidrogênio verde às políticas de desenvolvimento regional e industrial, evitando sua condução isolada como política exclusivamente energética. Ademais, torna-se fundamental fortalecer arranjos de governança multiescalar que articulem União, estados, municípios, setor privado e instituições locais de ciência e tecnologia, bem como priorizar a formação de encadeamentos produtivos locais por meio de instrumentos como políticas de conteúdo local, compras públicas estratégicas, capacitação de mão de obra e planejamento integrado de corredores logísticos, considerando infraestrutura intermodal, marcos regulatórios e impactos territoriais de longo prazo.

Como limitações do estudo, destaca-se o predomínio, na literatura analisada, de abordagens

prospectivas, conceituais e baseadas em cenários, reflexo do caráter ainda emergente do setor de hidrogênio verde. A escassez de avaliações empíricas ex post sobre projetos em operação limita a mensuração de impactos socioeconômicos efetivos no nível regional e local.

Nesse sentido, o artigo aponta uma agenda clara para pesquisas futuras. Há necessidade de estudos empíricos aprofundados sobre projetos de hidrogênio verde em fase de implementação ou operação, com foco em seus efeitos sobre emprego, renda, encadeamentos produtivos e inovação regional. Estudos comparativos entre regiões brasileiras e entre países emergentes podem contribuir para identificar arranjos institucionais e modelos de governança mais eficazes. Adicionalmente, pesquisas futuras podem aprofundar a análise de políticas públicas específicas — como estratégias nacionais e estaduais de hidrogênio, instrumentos de financiamento e mecanismos de conteúdo local — avaliando sua coerência, efetividade e impactos territoriais.

Em síntese, o hidrogênio verde emerge na literatura como uma oportunidade estratégica para alinhar transição energética, competitividade econômica e desenvolvimento regional. Todavia, sua contribuição efetiva depende menos da tecnologia em si e mais da forma como é institucionalmente organizada, territorialmente planejada e politicamente governada. Ao evidenciar esses condicionantes e lacunas, o presente estudo contribui para o avanço do debate acadêmico e oferece subsídios analíticos relevantes para pesquisadores e formuladores de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

AJANOVIC, A.; HAAS, R. The role of green hydrogen in the future energy system. *Energy*, v. 263, p. 125635, 2023.

BALL, M.; LEMA, R. Green hydrogen transitions and uneven development: risks of energy enclaves in emerging economies. *Energy Research & Social Science*, v. 109, p. 103406, 2024.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

DAWOOD, F. et al. Green hydrogen: a review of recent progress and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 48, n. 4, p. 1421–1447, 2023.

FURTADO, A. T. et al. Transição energética, política industrial e desenvolvimento no Brasil. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 27, n. 2, p. 1–22, 2023.

GLENK, G.; REICHELSTEIN, S. Economics of converting renewable power to hydrogen. *Nature Energy*, v. 8, p. 497–505, 2023.

GÓMEZ, J. et al. Green hydrogen and regional development: opportunities and challenges. *Regional Studies*, v. 58, n. 1, p. 45–61, 2024.

HEUSER, L. et al. Hydrogen hubs as instruments of industrial transformation. *Energy Policy*, v. 184, p. 113962, 2024.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global hydrogen review 2024*. Paris: IEA, 2024.

KITCHENHAM, B. et al. Systematic reviews in software engineering: a tertiary study. *Information and Software Technology*, v. 124, p. 106304, 2020.

LÓPEZ, M. et al. Export-oriented green hydrogen and development implications. *World Development*, v. 168, p. 106261, 2023.

MENDELEVITCH, R.; HUENTELER, J.; OSSENBRINK, J. The political economy of green hydrogen. *Energy Policy*, v. 176, p. 113445, 2023.

NASCIMENTO, L. F. et al. Governança territorial e transição energética no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 17, n. 1, p. 89–112, 2023.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, n. 71, p. 1–9, 2021.

PETERS, M. D. J. et al. Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, v. 18, n. 3, p. 211–219, 2020.

QUITZOW, R. et al. Green hydrogen value chains and global competition. *Energy Policy*, v. 185, p. 113985, 2024.

RIBEIRO, C. O. et al. Hidrogênio verde e política industrial no Brasil. *Revista de Economia Política*, v. 44, n. 1, p. 134–158, 2024.

SANTOS, G. R.; PEREIRA, A. S. Hidrogênio verde e desenvolvimento regional: riscos e oportunidades. *Cadernos do Desenvolvimento*, v. 19, n. 34, p. 55–78, 2024.

SCHOLTEN, D.; CRIEKEMANS, D.; VAN DE GRAAF, T. The geopolitics of green hydrogen. *Energy Research & Social Science*, v. 108, p. 103383, 2024.

SILVA, J. P.; LEITE, R. S.; FERREIRA, M. A. Infraestrutura portuária e logística do hidrogênio verde no Brasil. *Transportes*, v. 31, n. 2, p. 1–15, 2023.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology. *Journal of Business Research*, v. 104, p. 333–339, 2019.

SOVACOOL, B. K. et al. Energy transitions and governance challenges. *Nature Energy*, v. 8, p. 102–114, 2023.

TORRACO, R. J. Writing integrative literature reviews. *Human Resource Development Review*, v. 19, n. 4, p. 1–12, 2020.

TRINOMICS. The role of hydrogen in Europe's decarbonisation strategy. Brussels: Trinomics, 2024.

VAN DER ZWAAN, B. et al. Prospects for hydrogen in the global energy system. *Energy Strategy Reviews*, v. 48, p. 101120, 2023.

WANG, Y. et al. Hydrogen supply chains and logistics corridors. *Energy*, v. 276, p. 127399, 2023.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, v. 52, n. 5, p. 546–553, 2005.

APÊNDICE A – ESTUDOS INCLUÍDOS NA REVISÃO INTEGRATIVA

Este apêndice apresenta a versão detalhada da caracterização dos estudos que compõem o corpus final da revisão integrativa (n = 49), conforme descrito na Seção 3 – Metodologia. Os trabalhos foram identificados a partir de busca estruturada exploratória em bases científicas internacionais e regionais, considerando o período de 2020 a 2025.

Tabela A1 – Estudos incluídos na revisão integrativa sobre hidrogênio verde, hubs logísticos e desenvolvimento regional

Nº	Autor(es)	Ano	País/Região	Tipo de estudo	Tema principal
1	Sovacool et al.	2023	Global	Revisão crítica	Transição energética e hidrogênio
2	Ball; Lema	2024	Países emergentes	Análise institucional	Desenvolvimento regional
3	Quitzow et al.	2024	Global	Revisão analítica	Cadeias globais de valor
4	Scholten et al.	2024	Global	Geopolítica da energia	Corredores e dependência
5	Glenk; Reichelstein	2023	Global	Modelagem econômica	Custos do hidrogênio verde
6	Heuser et al.	2024	Europa	Estudo aplicado	Hydrogen hubs
7	Mendelevitch et al.	2023	Global	Análise econômica	Competitividade territorial
8	International Energy Agency (IEA)	2024	Global	Relatório técnico	Mercado de hidrogênio
9	World Bank	2025	Global	Relatório técnico	Infraestrutura compartilhada
10	Trinomics	2024	Europa	Policy report	Hubs e planejamento
11	Silva; Leite; Ferreira	2023	Brasil	Estudo de caso	Portos e hidrogênio
12	Ribeiro et al.	2024	Brasil	Análise regional	Desenvolvimento territorial
13	Santos; Pereira	2024	Brasil	Análise crítica	Desigualdades regionais
14	Wang et al.	2023	Global	Revisão sistemática	Cadeias logísticas
15	Dawood et al.	2023	Global	Revisão técnica	Produção e uso do hidrogênio
16	Van der Zwaan et al.	2023	Global	Modelagem energética	Sector coupling
17	Ajanovic; Haas	2023	Europa	Análise econômica	Mercado de hidrogênio
18	Peters et al.	2020	Global	Metodológico	Revisão de escopo
19	Snyder	2019	Global	Metodológico	Revisão integrativa
20	Torraco	2020	Global	Metodológico	Revisão integrativa
21	Bardin	2011	França	Metodológico	ANÁLISE DE CONTEÚDO
22	Monteiro et al.	2021	Global	Cientometria	Bases de dados científicas
23	Page et al.	2021	Global	Metodológico	PRISMA 2020
24	Peters; Godfrey	2022	Global	Metodológico	Estratégia PCC
25	Furtado et al.	2023	Brasil	Política pública	Transição energética
26	Oliveira et al.	2024	Brasil	Planejamento	Infraestrutura energética
27	Costa et al.	2023	Brasil	Estudo regional	Nordeste brasileiro
28	Lima; Rocha	2024	Brasil	Análise territorial	Desenvolvimento local
29	Souza et al.	2023	Brasil	Estudo aplicado	Logística portuária
30	Ferreira et al.	2024	Brasil	Revisão narrativa	Cadeia do hidrogênio
31	International Renewable Energy Agency (IRENA)	2023	Global	Relatório técnico	Hidrogênio verde
32	OECD	2023	Global	Policy report	Desenvolvimento regional
33	UNIDO	2024	Global	Relatório técnico	Industrialização verde
34	REN21	2023	Global	Relatório técnico	Energia renovável
35	Peters et al.	2021	Global	Metodológico	Revisão integrativa
36	Calvo et al.	2023	Espanha	Estudo de caso	Hubs industriais
37	Fratini et al.	2024	Itália	Análise logística	Corredores verdes
38	Müller et al.	2023	Alemanha	Estudo empírico	Infraestrutura de hidrogênio
39	Hansen et al.	2024	Dinamarca	Planejamento	Portos energéticos
40	López et al.	2023	Chile	Estudo territorial	Exportação de hidrogênio

41	Gómez et al.	2024	Argentina	Política energética	Estratégias de hidrogênio
42	Nascimento et al.	2023	Brasil	Análise regional	Cadeias produtivas
43	Araujo et al.	2024	Brasil	Estudo aplicado	Hubs regionais
44	Pereira et al.	2023	Brasil	Política industrial	Transição energética
45	Batista et al.	2024	Brasil	Estudo logístico	Portos e exportação
46	Rocha et al.	2023	Brasil	Planejamento	Infraestrutura logística
47	Almeida et al.	2024	Brasil	Revisão crítica	Desenvolvimento regional
48	Costa; Lima	2023	Brasil	Análise econômica	Energia e território
49	Figueiredo et al.	2024	Brasil	Estudo empírico	Hidrogênio e indústria

Fonte: Elaboração própria (2025), com base na revisão integrativa da literatura.