



CTENF 2024
1º CONGRESSO DE
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
DO NORTE-FLUMINENSE

1º Congresso de Transição Energética do Norte-Fluminense

Site: <https://eventos.congresse.me/ctenf/edicoes/CTENF>

ASPECTOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA PARA ECONOMIA DO HIDROGÊNIO NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE

1º Congresso de Transição Energética do Norte Fluminense, 1ª edição, de 11/11/2024 a 12/11/2024
ISBN dos Anais: 978-65-5465-131-8

MOREIRA; Marcos Antonio Cruz¹

RESUMO

Aspectos da Transição Energética para Economia do Hidrogênio na Região Norte Fluminense

Resumo

Em todo o mundo, o Hidrogênio está sendo desenvolvido como uma tecnologia para efetivar a transição energética e minimizar a dependência de combustíveis fósseis. O Hidrogênio na matriz energética é uma forma de transporte de energia, mais do que uma fonte de energia renovável. Vários aspectos da transição energética para o Hidrogênio têm sido estudados e pesquisados. O objetivo deste trabalho é prospectar, do ponto de vista da questão regional, quais são as áreas mais promissoras para o desenvolvimento de estudos e pesquisas, no contexto da região norte fluminense.

Abstract

Hydrogen is being developed worldwide as a technology to facilitate energy transition and minimize dependence on fossil fuels. Hydrogen in the energy matrix is a form of energy transport, more than a renewable energy source. Several aspects of the energy transition to hydrogen have been studied and researched. The objective of this work is to prospect, from a regional perspective, which are the most promising areas for the development of studies and research, in the context of the northern region of Rio de Janeiro.

Introdução

Define-se cadeia de valor do hidrogênio como "diversas etapas, tais como a produção de insumos e equipamentos, a produção do hidrogênio seu condicionamento, armazenamento e distribuição, o uso do hidrogênio em diversos setores" (Schneider et al, 2023). Uma possível divisão (Sharma et al 2023) deste campo de pesquisa pode ser feitas em grandes áreas, quais sejam: produção; transporte e infraestrutura; mercado, legislação e aplicações; e temas transversais. Esta última contempla temas interessantes como impactos socioeconômicos e ambientais.

Objetivo

A partir da comparação entre as questões relevantes de pesquisa identificadas na literatura recente e o contexto regional, sugerir alguns temas referentes à economia do hidrogênio que podem ser objeto de estudos e pesquisas de interesse regional.

Metodologia

A partir de revisão bibliográfica não exaustiva, com publicações a partir de 2021, usando as palavras chaves "Energy Transition" AND "Hydrogen" e "Gás Natural" AND "Reforma" na plataforma de periódicos da CAPES, com vistas a identificar pontos apontados como relevantes para pesquisas nas áreas de produção, transporte, infraestrutura, regulação de mercados e temas transversais.

Resultados e Discussão

Dividindo os resultados conforme as áreas listadas na seção de Introdução, obtém-se, como pontos relevantes de pesquisa dentro de cada

¹ Instituto Federal Fluminense, mcruzcn@gmail.com

área,

Produção: a classificação do hidrogênio em escala de cores segundo o processo de produção é a seguinte (EPE, 2022):

Preto: Gaseificação do carvão mineral (antracito) sem CCUS (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono);

Marrom: Gaseificação do carvão mineral (hulha3) sem CCUS;

Cinza: Reforma a vapor do gás natural sem CCUS;

Azul: Reforma a vapor do gás natural com CCUS;

Turquesa: Pirólise do gás natural (metano) sem gerar CO₂;

Verde: Eletrólise da água com energia de fontes renováveis (eólica/solar);

Musgo: Reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis com ou sem CCUS;

Rosa: Fonte de energia nuclear;

Amarelo: Energia da rede elétrica, composta de diversas fontes;

Branco: Extração de hidrogênio natural ou geológico;

Não obstante o melhor cenário para a transição energética ser a produção de Hidrogênio Verde, por ser produto da utilização de fontes renováveis (Hermesmann e Müller, 2022), a produção de Hidrogênio Cinza ou Azul, a partir da reforma do gás natural não deve ser negligenciada pois trata-se de um método de produção que tem o menor custo de capital envolvido e maior eficiência (Kannah et al, 2021).

Transporte e Infraestrutura: a tecnologia de transporte de hidrogênio pode ser dividida em tipos principais: gás em alta pressão; hidrogênio líquido em baixas temperaturas; hidrogênio solidificado; amônia líquida e hidrogênio misturado com gás natural. Segundo trabalho recente de Revinova et al (2024), a solução mais razoável para um fornecimento econômico de energia de hidrogênio é transportar gás natural misturado a hidrogênio usando a rede de distribuição existente ou transportar hidrogênio puro após pequenas modificações na rede de distribuição de gás natural existente. Danieli, et al (2022) discutem a possibilidade da rede de distribuição de gás natural acomodar a distribuição de hidrogênio, não obstante a questão de permeabilidade e vazamento de hidrogênio sejam temas que requerem pesquisas adicionais (AL-KUWARI E SCHÖNFISCH, 2022). Na mesma linha, Hilali et al (2024) discutem a possibilidade da Turquia tornar-se um hub de distribuição de Hidrogênio na Europa, tendo em vista a infraestrutura já existente de gasodutos.

Mercado, Legislação e Aplicações: questões como introdução do hidrogênio nos sistemas de transporte, indústria, uso doméstico, bem como tornar o custo do hidrogênio verde competitivo e aspectos comerciais são objeto de políticas nacionais (SHARMA et al, 2023 e HUNT et al, 2023). Desta forma não serão consideradas neste trabalho introdutório dedicado a questões regionais.

Temas Transversais:

São questões apontadas por Cremonese et al (2023), a necessidade de mecanismos para identificar os impactos socioeconômicos e ambientais da adoção da economia do hidrogênio. Baquero e Monsalve (2024) abordam a necessidade de mecanismos para abordar os novos requisitos trazidos pela adoção de novas tecnologias de hidrogênio (mão de obra, emprego, treinamento etc.) Gordon et al (2024) destacam a necessidade de estratégias para apoiar, educar e preparar a sociedade civil e os usuários finais na adoção de tecnologias de hidrogênio verde, de forma equitativa.

De acordo com Osman et al (2022) a avaliação do ciclo de vida (ACV) é reconhecida como uma ferramenta abrangente para avaliar impactos ambientais associados a produtos e processos. A sustentabilidade ambiental baseada na ACV continua sendo um dos principais requisitos para selecionar esses processos para produção de hidrogênio.

Conclusões

Considerando o cenário regional do norte fluminense, e destacando aspectos de infraestrutura tais como: perspectiva de instalação de fazendas eólicas *offshore*, infraestrutura existente de gasodutos e projetos futuros (EPE, 2022b), a questão da integração futura das eólicas *offshore* na produção de hidrogênio verde parece interessante. Assim como a questão de eventual produção de hidrogênio azul/cinza a partir da reforma a vapor do gás natural.

Os requisitos da infraestrutura de transporte, riscos ocupacionais e riscos que possam implicar em impactos ambientais, e avaliação dos possíveis impactos bem como avaliação do ciclo de vida das instalações são outros temas que podem ser explorados.

Certamente as instituições e pesquisadores atuantes na região têm competência para atuar em diversas diferentes áreas da cadeia de valor de hidrogênio. Estas conclusões são somente indicativas de possíveis linhas de pesquisa que podem ser desenvolvidas, mais especificamente para o Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, curso de atuação do autor.

Referências:

- AL-KUWARI, O.; SCHÖNFISCH, M.; The emerging hydrogen economy and its impact on LNG. Energiewirtschaftliches Institut an der Universitaet zu Koeln (EWI). Disponível em https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/03/EWI_WP_21-06_The_emerging_hydrogen_economy_and_its_impact_on_LNG_Schoenfisch_Al-Kuwari.pdf Acesso em 02/20/2024.
- BAQUERO, J.E.G.; MONSALVE, D.B.; From fossil fuel energy to hydrogen energy: Transformation of fossil fuel energy economies into hydrogen economies through social entrepreneurship, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 54, 2024, Pages 574-585
- CREMONESE L.; MBUNGU, G.K.; QUITZOW R. The sustainability of green hydrogen: An uncertain proposition. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, Issue 51, 2023, Pages 19422-19436.
- DANIELI, P.; LAZZARETTO, A.; AL-ZAILI, J.; SAYMA, A.; MASI, M.; CARRARO, G.; The potential of the natural gas grid to accommodate hydrogen as an energy vector in transition towards a fully renewable energy system. Applied Energy 313 (2022) 118843. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118843>.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2022a. Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural. Nota Técnica. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrog%C3%AAnio%20Cinza.pdf> acesso em 07.10.2024
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2022b. Plano Indicativo de Gasodutos de Transporte. Nota Técnica. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-710/PIG%202022_REV1.pdf acesso em 07.10.2024.
- GORDON, J.A.; BALTA-OZKAN, N.; HAQ, A.; NABAVI, S.A.; Coupling green hydrogen production to community benefits: A pathway to social acceptance? Energy Research & Social Science 110 (2024) 103437
- HERMESMANN, M.; MÜLLER, T.E., 2022. Green, turquoise, blue, or Grey? Environmentally friendly hydrogen production in transforming energy systems. Prog. Energy Combust. Sci. 90, 100996.
- HILALI, I.; ISIKER Y.; ULKER, N. The hydrogen perspective for Türkiye, which is on the Asia-Europe energy transition route. Can Türkiye become hydrogen hub? International Journal of Hydrogen Energy 75 (2024) 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.12.247>
- HUNT, J.D.; SCHNEIDER, P.S.; SCHNEIDERS, T.; STADLER, I.; FERNANDES, J.; J.T.; MURTA, A.L.S.; Hidrogênio Verde (H₂ Pt-X) e outras aplicações: siderurgia, indústria química, agronegócio, uso em habitações, reconversão para eletricidade - célula a combustível estacionária [livro eletrônico] volume 2. Brasília, DF. LaSUS FAU 2023
- KANNAH, Y.R.; KAVIATH, S.; PREETHI, P. K.; KUMAR, G.; DAI-VIET, N.V.; RAJACH B.J.; Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – a review. 2021 Bioresource Technology 319.
- OSMAN, A.I.; MEHTA, N.; ELGARAHY, A.M.; HEFNY, M.; AL-HINAI, A.; AL-MUHTASEB, A.H.; ROONEY, D.W. Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. Environmental Chemistry Letters (2022) 20:153–188. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01322-8>
- REVINOVA, S.; LAZANYUK, I.; GABRIELIAN, B.; SHAHINYAN, T.; HAKOBYAN, Y. Hydrogen in Energy Transition: The Problem of Economic Efficiency, Environmental Safety, and Technological Readiness of Transportation and Storage. Resources 2024, 13, 92. <https://doi.org/10.3390/resources13070092>
- SCHNEIDERS, T.; STADLER, I.; DOMINGUES, M.; GONZÁLEZ, M.; FENANES, J.; J.T.; MURTA, A.L.S.; Economia do Hidrogênio e os significados dos termos Pt- X [livro eletrônico] volume 5. Brasília, DF. LaSUS FAU 2023
- SHARMA G.D.; VERMA M.; TAHERI B.; CHOPRA R.; PARIHAR J.S. Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review. Technological Forecasting & Social Change 192 (2023) 122574

Aspectos da Transição Energética para Economia do Hidrogênio na Região Norte Fluminense

Resumo

Em todo o mundo, o Hidrogênio está sendo desenvolvido como uma tecnologia para efetivar a transição energética e minimizar a dependência de combustíveis fósseis. O Hidrogênio na matriz energética é uma forma de transporte de energia, mais do que uma fonte de energia renovável.

Vários aspectos da transição energética para o Hidrogênio têm sido estudados e pesquisados. O objetivo deste trabalho é prospectar, do ponto de vista da questão regional, quais são as áreas mais promissoras para o desenvolvimento de estudos e pesquisas, no contexto da região norte fluminense.

Abstract

Hydrogen is being developed worldwide as a technology to facilitate energy transition and minimize dependence on fossil fuels. Hydrogen in the energy matrix is a form of energy transport, more than a renewable energy source. Several aspects of the energy transition to hydrogen have been studied and researched. The objective of this work is to prospect, from a regional perspective, which are the most promising areas for the development of studies and research, in the context of the northern region of Rio de Janeiro.

Introdução

Define-se cadeia de valor do hidrogênio como “diversas etapas, tais como a produção de insumos e equipamentos, a produção do hidrogênio seu condicionamento, armazenamento e distribuição, o uso do hidrogênio em diversos setores” (Schneider et al, 2023). Uma possível divisão (Sharma et al 2023) deste campo de pesquisa pode ser feitas em grandes áreas, quais sejam: produção; transporte e infraestrutura; mercado, legislação e aplicações; e temas transversais. Esta última contempla temas interessantes como impactos socioeconômicos e ambientais.

Objetivo

A partir da comparação entre as questões relevantes de pesquisa identificadas na literatura recente e o contexto regional, sugerir alguns temas referentes à economia do hidrogênio que podem ser objeto de estudos e pesquisas de interesse regional.

Metodologia

A partir de revisão bibliográfica não exaustiva, com publicações a partir de 2021, usando as palavras chaves “Energy Transition” AND “Hydrogen” e “Gás Natural” AND “Reforma” na plataforma de periódicos da CAPES, com vistas a identificar pontos apontados como relevantes para pesquisas nas áreas de produção, transporte, infraestrutura, regulação de mercados e temas transversais.

Resultados e Discussão

Dividindo os resultados conforme as áreas listadas na seção de Introdução, obtém-se, como pontos relevantes de pesquisa dentro de cada área,

Produção: a classificação do hidrogênio em escala de cores segundo o processo de produção é a seguinte (EPE, 2022):

Preto: Gaseificação do carvão mineral (antracito) sem CCUS (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono);

Marrom: Gaseificação do carvão mineral (hulha3) sem CCUS;

Cinza: Reforma a vapor do gás natural sem CCUS;

Azul: Reforma a vapor do gás natural com CCUS;

Turquesa: Pirólise do gás natural (metano) sem gerar CO₂;

Verde: Eletrólise da água com energia de fontes renováveis (eólica/solar);

Musgo: Reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis com ou sem CCUS;

Rosa: Fonte de energia nuclear;

Amarelo: Energia da rede elétrica, composta de diversas fontes;

Branco: Extração de hidrogênio natural ou geológico;

Não obstante o melhor cenário para a transição energética ser a produção de Hidrogênio Verde, por ser produto da utilização de fontes renováveis (Hermesmann e Müller, 2022), a produção de Hidrogênio Cinza ou Azul, a partir da reforma do gás natural não deve ser negligenciada pois trata-se de um método de produção que tem o menor custo de capital envolvido e maior eficiência (Kannah et al, 2021).

Transporte e Infraestrutura: a tecnologia de transporte de hidrogênio pode ser dividida em tipos principais: gás em alta pressão; hidrogênio líquido em baixas temperaturas; hidrogênio solidificado; amônia líquida e hidrogênio misturado com gás natural. Segundo trabalho recente de Revinova et al (2024), a solução mais razoável para um fornecimento econômico de energia de hidrogênio é transportar gás natural misturado a hidrogênio usando a rede de distribuição existente ou transportar hidrogênio puro após pequenas modificações na rede de distribuição de gás natural existente. Danieli, et al (2022) discutem a possibilidade da rede de distribuição de gás natural acomodar a distribuição de hidrogênio, não obstante a questão de permeabilidade e vazamento de hidrogênio sejam temas que requerem pesquisas adicionais (AL-KUWARI E

SCHÖNFISCH, 2022). Na mesma linha, Hilali et al (2024) discutem a possibilidade da Turquia tornar-se um hub de distribuição de Hidrogênio na Europa, tendo em vista a infraestrutura já existente de gasodutos.

Mercado, Legislação e Aplicações: questões como introdução do hidrogênio nos sistemas de transporte, indústria, uso doméstico, bem como tornar o custo do hidrogênio verde competitivo e aspectos comerciais são objeto de políticas nacionais (SHARMA et al, 2023 e HUNT et al, 2023). Desta forma não serão consideradas neste trabalho introdutório dedicado a questões regionais.

Temas Transversais:

São questões apontadas por Cremonese et al (2023), a necessidade de mecanismos para identificar os impactos socioeconômicos e ambientais da adoção da economia do hidrogênio. Baquero e Monsalve (2024) abordam a necessidade de mecanismos para abordar os novos requisitos trazidos pela adoção de novas tecnologias de hidrogênio (mão de obra, emprego, treinamento etc.) Gordon et al (2024) destacam a necessidade de estratégias para apoiar, educar e preparar a sociedade civil e os usuários finais na adoção de tecnologias de hidrogênio verde, de forma equitativa.

De acordo com Osman et al (2022) a avaliação do ciclo de vida (ACV) é reconhecida como uma ferramenta abrangente para avaliar impactos ambientais associados a produtos e processos. A sustentabilidade ambiental baseada na ACV continua sendo um dos principais requisitos para selecionar esses processos para produção de hidrogênio.

Conclusões

Considerando o cenário regional do norte fluminense, e destacando aspectos de infraestrutura tais como: perspectiva de instalação de fazendas eólicas *offshore*, infraestrutura existente de gasodutos e projetos futuros (EPE, 2022b), a questão da integração futura das eólicas *offshore* na produção de hidrogênio verde parece interessante. Assim como a questão de eventual produção de hidrogênio azul/cinza a partir da reforma a vapor do gás natural.

Os requisitos da infraestrutura de transporte, riscos ocupacionais e riscos que possam implicar em impactos ambientais, e avaliação dos possíveis impactos bem como avaliação do ciclo de vida das instalações são outros temas que podem ser explorados.

Certamente as instituições e pesquisadores atuantes na região têm competência para atuar em diversas diferentes áreas da cadeia de valor de hidrogênio. Estas conclusões são somente indicativas de possíveis linhas de pesquisa que podem ser desenvolvidas, mais especificamente para o Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, curso de atuação do autor.

Referências:

AL-KUWARI, O.; SCHÖNFISCH, M.; The emerging hydrogen economy and its impact on LNG. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI). Disponível em https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/03/EWI_WP_21-06_The_emerging_hydrogen_economy_and_its_impact_on_LNG_Schoenfish_Al-Kuwari.pdf Acesso em 02/20/2024.

BAQUERO, J.E.G.; MONSALVE, D.B.; From fossil fuel energy to hydrogen energy: Transformation of fossil fuel energy economies into hydrogen economies through social entrepreneurship, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 54, 2024, Pages 574-585

CREMONESE L.; MBUNGU, G.K.; QUITZOW R. The sustainability of green hydrogen: An uncertain proposition. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, Issue 51, 2023, Pages 19422-19436.

DANIELI, P.; LAZZARETTO, A.; AL-ZAILI, J.; SAYMA, A.; MASI, M.; CARRARO, G.; The potential of the natural gas grid to accommodate hydrogen as an energy vector in transition towards a fully renewable energy system. Applied Energy 313 (2022) 118843. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118843>.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2022a. Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural. Nota Técnica. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrog%C3%AAnio%20Cinza.pdf> acesso em 07.10.2024

EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2022b. Plano Indicativo de Gasodutos de Transporte. Nota Técnica. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-710/PIG%202022_REV1.pdf acesso em 07.10.2024.

GORDON, J.A.; BALTA-OZKAN, N.; HAQ, A.; NABAVI, S.A.; Coupling green hydrogen production to community benefits: A pathway to social acceptance? Energy Research & Social Science 110 (2024) 103437

HERMESMANN, M.; MÜLLER, T.E., 2022. Green, turquoise, blue, or Grey? Environmentally friendly hydrogen production in transforming energy systems. Prog. Energy Combust. Sci. 90, 100996.

HILALI, I.; ISIKER Y.; ULKER, N. The hydrogen perspective for Türkiye, which is on the Asia-Europe energy transition route. Can Türkiye become hydrogen hub? *International Journal of Hydrogen Energy* 75 (2024) 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.12.247>

HUNT, J.D.; SCHNEIDER, P.S.; SCHNEIDERS, T.; STADLER, I.; FERNANDES, J.; J.T.; MURTA, A.L.S.; Hidrogênio Verde (H₂ Pt-X) e outras aplicações: siderurgia, indústria química, agronegócio, uso em habitações, reconversão para eletricidade - célula a combustível estacionária [livro eletrônico] volume 2. Brasília, DF. LaSUS FAU 2023

KANNAH, Y.R.; KAVIATH, S.; PREETHI, P. K.; KUMAR, G.; DAI-VIET, N.V.; RAJACH B.J.; Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – a review. *2021 Bioresource Technology* 319.

OSMAN, A.I.; MEHTA, N.; ELGARAHY, A.M.; HEFNY, M.; AL-HINAI, A.; AL-MUHTASEB, A.H.; ROONEY, D.W. Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. *Environmental Chemistry Letters* (2022) 20:153–188. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01322-8>

REVINOVA, S.; LAZANYUK, I.; GABRIELIAN, B.; SHAHINYAN, T.; HAKOBYAN, Y. Hydrogen in Energy Transition: The Problem of Economic Efficiency, Environmental Safety, and Technological Readiness of Transportation and Storage. *Resources* 2024, 13, 92. <https://doi.org/10.3390/resources13070092>

SCHNEIDERS, T.; STADLER, I.; DOMINGUES, M.; GONZÁLEZ, M.; FENANES, J.; J.T.; MURTA, A.L.S.; Economia do Hidrogênio e os significados dos termos Pt- X [livro eletrônico] volume 5. Brasília, DF. LaSUS FAU 2023

SHARMA G.D.; VERMA M.; TAHERI B.; CHOPRA R.; PARIHAR J.S. Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review. *Technological Forecasting & Social Change* 192 (2023) 122574

PALAVRAS-CHAVE: H2 VERDE, Economia Hidrogênio