Arquitetura da Transição Energética visando Termelétricas a Gás Natural introduzindo H2 Verde e Captura de carbono como mecanismo de Reduções de Emissões de GEE

Adriana Lucimar de Oliveira, (11) 976885886, [adriana.oliveira@thymosenergia.com.br](mailto:adriana.oliveira@thymosenergia.com.br)

Dorel Soares Ramos, dorelram@usp.br

Miguel Morales Udaeta, udaeta@pea.usp.br

Viviane Tavares Nascimento, viviane.tav.nascimento@gmail.com

# Overview

# O objetivo do artigo é demonstrar a importância das usinas Termelétricas a Gás Natural no Contexto da Transição Energética, isto é, com a inserção massiva das fontes variáveis no Sistema Elétrico Brasileiro e detalhar as tecnologias de Blend de Gás Natural / Hidrogênio Verde e CCUS/CCS como mecanismos de reduções das emissões de CO2

# Methods

# O artigo aborda a urgência global em enfrentar as emissões de gases de efeito estufa e destaca a relevância dos compromissos assumidos pelos países, especialmente evidenciados nas COPs, para conter o aumento da temperatura global. Foca-se na importância da transformação do setor de geração de energia elétrica, com ênfase no cenário brasileiro. O texto discute o papel crescente das fontes renováveis, em particular eólica e solar, e os desafios técnicos e econômicos associados a essa transição. Além disso, explora as metas ambiciosas estabelecidas pela NDC brasileira, destacando a necessidade de medidas para assegurar a confiabilidade do sistema elétrico, abordando o fenômeno conhecido como "Missing Money" e a necessidade de investimentos em infraestrutura.

# 1. Introdução

# 2. Estado da Arte da Tecnologia de Geração Termelétrica a Gás Natural

# 2.1. Combustão Externa

# 2.2. Combustão Interna

# 2.3. Tecnologias e Inovações

# 2.3.1. Termelétricas a Vapor

# 2.3.2. Termelétricas de Turbinas a Gás Operando em Ciclo Simples

# 2.3.3. Termelétricas de Ciclo Combinado

# 2.3.4. Termelétricas com Motores de Combustão Interna Alternativos

# 3. A importância da Confiabilidade em um Sistema Elétrico

# 3.1. A importância da Termelétrica para a Confiabilidade de um Sistema Elétrico

# 3.2. A Abordagem da Confiabilidade pela Teoria do Mercado

# 3.3. Caracterização do Missing Money e dos Mercados de Capacidade

# 3.4. Implementação do Mercado de Capacidade no Brasil

# 4. O Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

# 4.1. Experiência Internacional na implantação do CCUS

# 5. O Blend de Gás Natural e Hidrogênio Verde

# 6. Conclusões e Considerações Finais

**Results**

O artigo destaca a relevância das usinas termelétricas a gás natural durante a transição energética, especialmente diante da crescente integração de fontes variáveis no Sistema Elétrico Brasileiro. Explora detalhadamente as tecnologias de Blend de Gás/Hidrogênio e CCUS/CCS como meios eficazes para reduzir as emissões de CO2. Abordando a questão global das emissões de gases de efeito estufa, o artigo destaca os esforços internacionais, desde a Rio-92 até a recente COP 27 em 2022, para combater as mudanças climáticas. Enfatiza o papel vital das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), com o Brasil atualizando suas metas ambiciosas em 2022 após a COP 26, visando reduções de 37% até 2025 e 50% até 2030, com a meta final de neutralidade climática em 2050.

A ênfase na geração de energia elétrica como peça-chave para atingir essas metas destaca a transição para fontes renováveis, especialmente no Brasil, onde as FRND, como eólica e solar, estão em ascensão. Apesar dos desafios operacionais e econômicos decorrentes da variabilidade dessas fontes, o texto destaca a importância de investir em soluções flexíveis, como usinas termelétricas, reconhecendo o papel transitório do gás natural como ponte para tecnologias de carbono zero.

**Conclusions**

# Em sistemas com alta penetração de Fontes de Energia Renovável Intermittentes (FNRD), como solar e eólica, as usinas termelétricas são cruciais para garantir a estabilidade e confiabilidade do fornecimento de energia, devido à variabilidade dessas fontes.

# A crescente participação das FNRDs reduz os preços no mercado de energia, levando à sub-remuneração das usinas termelétricas, que fornecem não apenas energia, mas também serviços de confiabilidade sistêmica.

# A teoria do desenho de mercado sugere duas opções para resolver esse problema: aumentar os preços no mercado de energia ou criar um mercado de capacidade específico para remunerar adequadamente esses ativos.

# A tendência internacional é adotar mercados de capacidade para enfrentar a sub-remuneração das usinas termelétricas.

# O Brasil implementou seu mercado de capacidade em 2021 para lidar com a falta de dinheiro, à medida que as renováveis intermitentes ganham espaço na matriz elétrica.

# Na Transição Energética, a combinação de hidrogênio e gás natural em usinas termelétricas, juntamente com a tecnologia de Captura e Armazenamento de Carbono (CCUS), é uma estratégia promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mantendo a confiabilidade do fornecimento de energia.

# Incorporar hidrogênio em blends com gás natural reduz as emissões de CO2, enquanto o CCUS captura e armazena o CO2 produzido durante a combustão, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e garantindo a sustentabilidade e segurança do fornecimento de energia elétrica no futuro.

# References

# [1] International Energy Agency (IEA, 2015). Electricity Market Series. Re-powering Markets: Market Design and Regulation During the Transition to Low-Carbon Power Systems.

# [2] International Energy Agency (IEA, 2021). Renewables 2021: Analysis and forecasts to 2026.

# [3] Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Decenal de Energia (PDE2031).

# [4] TOLMASQUIM, 2005; TEIXEIRA e LORA, 2004; NASCIMENTO et al., 2004ª.

# [5] Nascimento et al., 2004.

# [6] Adaptado de Wikimedia Commons, 2008.

# [7] Arrieta et al., 2004.

# [8] Ishikawa et al., 2008.

# [9] Stanford, 2019.

# [10] CRAMTON, P., et al. Capacity Market Fundamentals. Economics of Energy & Environmental Policy, Cleveland, OH, Vol.02, No.02, p.01-26, 2013.

# [11] JOSKOW, P.L. Markets for Power in the US: An Interim Assessment. The Energy Journal 27 (1), 1-36, 2006.

# [12] JOSKOW, P.L. Competitive Electricity Markets and Investiment in New Generating Capacity. In: Helm, D. (Ed.), The New Energy Paradigm. Oxford University Press, 2007.

# [13] VIANA, A. G. Leilões como Mecanismo Alocativo para um Novo Desenho de Mercado no Brasil. Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, 2018.

# [14] LINKTATERS. Capacity Mechanisms: Reigniting Europe’s Energy Markets, 2014.

# [15] THALASSINOS, T. et al. Managerial Issues Regarding the Role of Natural Gas in the Transition of Energy and the Impact of Natural Gas Consumption on the GDP of Selected Countries. Resources, 2022.

# [16] Federal Energy Regulatory Commission (FERC). Market Views. Disponível em: https://www.ferc.gov.

# [17] WALVIS, A.; GONÇALVES, E. Avaliação das Reformas Recentes no Setor Elétrico Brasileiro e sua Relação com o Desenvolvimento do Mercado Livre de Energia. Fundação Getúlio Vargas – Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura (FGV-CERI).

# [18] HUNT, S. Making Competition to Work in Electricity. Willey. 2002

# [19] MING, Z.; OLSON, A.; MOORE, J.; SCHLAG, N. The Load-Serving Entity Reliability Obligation: A Market Design Reform to Ensure Electric Reliability in Texas. Energy+Environmetal Ecnomics, 2021.

# [20] CCUS in China the value and opportunities for deployment a report from the oil and gas climate initiative september 2021.

# [21] Global CCS institute (GCCSI) (2019), The Global Status of CCS 2019.

# [22] Transport infrastructure based on Edwards, R. and Celia, M. (2018).

# [23] Hydrogen combustion in Siemens Energy gas turbine. Siemens, julho de 2022.

# [24] https://www.20minutos.es/noticia/5094617/0/espana-se-asegura-solo-sur-francia-canalizacion-hidrogeno-verde-podria-ser-origen-nuclear-camino-alemania/.

# [25] https://fleetbusandcoach.ie/news/plan-to-pipe-hydrogen-gas-around-europe-by-2040/.