

DESAFIOS E PROJEÇÕES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS: análise de crescimento no Brasil, Áustria e Alemanha

Gustavo Henrique Romeu da Silva¹
Andreas Nascimento²

Desenvolvimento e Implementação de tecnologias verdes

Resumo

Este estudo analisa as projeções do crescimento de energia renováveis no Brasil, Áustria e Alemanha. O uso predominante de combustíveis fósseis ainda marca as matrizes energéticas desses países, bem como a do Brasil, que depende de 53,3% de fontes fósseis em sua matriz. O Brasil se diferencia por seu vasto potencial de energias renováveis, principalmente hídrica, eólica, solar e biomassa, e está emergindo como um líder promissor na produção de hidrogênio renovável. Na Europa, a Áustria e a Alemanha seguem caminhos distintos, com a Áustria se concentrando em biocombustíveis sólidos e a Alemanha investindo em biogás e biocombustíveis líquidos. Este estudo comparativo utiliza uma metodologia baseada em levantamento bibliográfico e análise de dados para prever o crescimento das energias renováveis em cada país. As projeções indicam que a Áustria liderará com 96,4% de fontes renováveis em 2032, seguida pelo Brasil com 75,1% e pela Alemanha com 67,1%. A pesquisa evidencia a necessidade de investimentos adicionais e políticas robustas para alcançar as metas de descarbonização, especialmente para o Brasil, que pode ser ultrapassado pela Alemanha nos próximos anos.

Palavras-chave: Sustentabilidade energética; Crescimento sustentável; Políticas de energia; Cenários globais; Inovações tecnológicas.

¹Aluno do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia e Ciências – Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEG-UNESP), Departamento de Energia, gustavo.romeu@unesp.br.

² Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia e Ciências – Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEG-UNESP), Departamento de Energia & Instituto de Engenharia Mecânica – Câmpus de Itajubá, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), andreas.nascimento@unifei.edu.br.

REALIZAÇÃO



INTRODUÇÃO

O conflito na Ucrânia, que começou na primavera europeia de 2022, levou a países como Alemanha e Áustria a enfrentar problemas econômicos significativos. Isso mostra a natureza instável do comércio de energia transfronteiriço, caracterizado pela possibilidade de interrupções repentinas ou aumentos significativos nos preços. O uso de combustíveis fósseis ainda representa a maior parcela da matriz energética da maioria dos países. Em cenário nacional, esta parcela equivale a 53,3% da matriz de energia brasileira (Empresa de Pesquisa Energética, 2022). Na Alemanha, para o ano de 2022, essa porção equivaleu a 45,9% (AG Energiebilanzen E.V, 2023). Na Áustria, o montante foi de 64,8% para o ano de 2021 (Energie in Österreich, 2022).

O Brasil, de um lado, e a Áustria e Alemanha (como exemplos da Europa), do outro, representam dois mercados econômicos e políticos distintos. Esse contraste oferece uma oportunidade para examinar questões e soluções relacionadas ao uso de fontes de energia renováveis a partir de diferentes perspectivas.

O Brasil, com seu vasto potencial na geração de renováveis a partir de fontes hídricas, eólica, solar e biomassa (principalmente bagaço de cana-de-açúcar), apresenta-se como um grande promissor na produção de hidrogênio renovável, com diversos programas e políticas energéticas como o PROINFA e RenovaBio.

Na Europa, enquanto a Áustria possui um potencial de renováveis semelhante ao do Brasil, focando na geração a partir biocombustíveis sólidos primários. A Alemanha, por sua vez, investe intensamente no biogás e biocombustíveis líquidos. Por meio da Missão 2030, a Áustria está comprometida em alcançar 100% de energia renovável em seu cabaz de eletricidade até 2030 (BMNT; BMVIT, 2018). A Alemanha, através da iniciativa *Energiewende*, visa reduzir drasticamente as emissões de gases de efeito estufa até 2050, eliminando sua dependência histórica de combustíveis fósseis (BMUB, 2016).

Objetiva-se com este trabalho analisar os desafios e as projeções de crescimento no uso de energias renováveis no Brasil, Áustria e Alemanha, destacando as estratégias adotadas e os potenciais



de cada país na transição para uma matriz energética mais sustentável.

METODOLOGIA

O trabalho é desenvolvido com base em uma revisão sistemática da literatura, utilizando artigos técnico-científicos relacionados com o escopo da pesquisa encontrados nas bases *Scopus* e *Web of Science*. O *software* RStudio e a Linguagem R foram utilizados juntos para garantir a integridade e a não duplicidade dos artigos revisados. Isso facilitou a união e organização dos dados provenientes das duas bases. Os critérios rigorosos de inclusão foram usados no processo de seleção. O foco foi em artigos publicados que retratem sobre o Brasil, a Áustria e a Alemanha no contexto da transição energética e energias renováveis, delimitado no idioma inglês e publicado entre 2018 e 2023.

Além disso, foram examinados os dados de relatórios técnico-científicos da Agência Internacional de Energia (IEA), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a *Statistik Austria*. Esses relatórios forneceram dados qualitativos e quantitativos sobre as condições energéticas das respectivas nações. Todos os documentos foram examinados minuciosamente para determinar a relevância, a metodologia usada e os resultados. Os dados coletados foram agrupados e analisados qualitativamente por meio de uma abordagem de análise de conteúdo, bem como quantitativamente por meio de estatísticas descritivas e inferenciais, quando necessário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efetuar uma previsão do crescimento das energias renováveis, em primeira instância, coletou-se os dados inerentes a porcentagem de renováveis na matriz energética de cada país nas bases de dados da Empresa de Pesquisa Energética (2022), para o caso do Brasil, e *Statistik Austria* (2023) para os casos da Alemanha e Áustria no período de 2013 a 2021. Em seguida, esses dados foram plotados em um gráfico no Excel, conforme observado na Figura 01.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

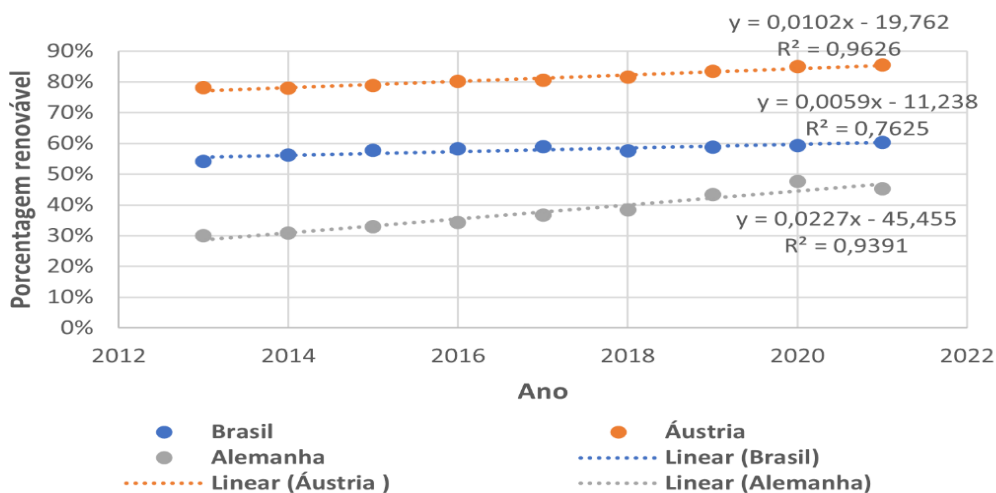


Figura 01: Comparação do crescimento na geração de energias renováveis: Brasil, Áustria e Alemanha (2013-2021). Dados coletados de Empresa de Pesquisa Energética (2022) e *Statistik Austria* (2023).

Segundo o princípio da simplicidade (Princípio de Occam), sugere-se que, entre adotarmos um modelo linear ou polinomial na representatividade dos dados, em igualdade de condições, deve-se preferir o modelo mais simples. Nesse sentido, como observado na Figura 01, efetuou-se uma aproximação dos dados na forma de equação linear, o qual representa uma previsão estimada razoável sob os dados. Assim, é notório 3 curvas ascendente, cinza, azul e vermelho, representando a situação de geração de renováveis na Alemanha, Brasil e Áustria, respectivamente. O valor de R^2 obtido próximo do valor 1 comprova a precisão dos dados.

Ao comparar as três curvas em questão, denota-se que, em relação ao coeficiente angular das curvas (α), que representa o quão rápido as renováveis crescem em cada país, a Alemanha ocupa a primeira posição ($\alpha = 0,0227$), seguida da Áustria ($\alpha = 0,0102$) e Brasil ($\alpha = 0,0059$). Portanto, verifica-se que a Alemanha neste estudo é o país que vêm mais crescendo o seu uso de energias renováveis em sua matriz energética ao longo dos últimos 9 anos, seguida da Áustria e Brasil.

Com as respectivas equações de retas obtidas para cada país torna-se possível efetuar uma previsão de quando cada nação atingirá 100% da descarbonização de suas matrizes energéticas. A Figura 02 apresenta a previsão do crescimento do uso de renováveis em cada país para os próximos 10 anos conforme tendência apresentada nos últimos 9 anos.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

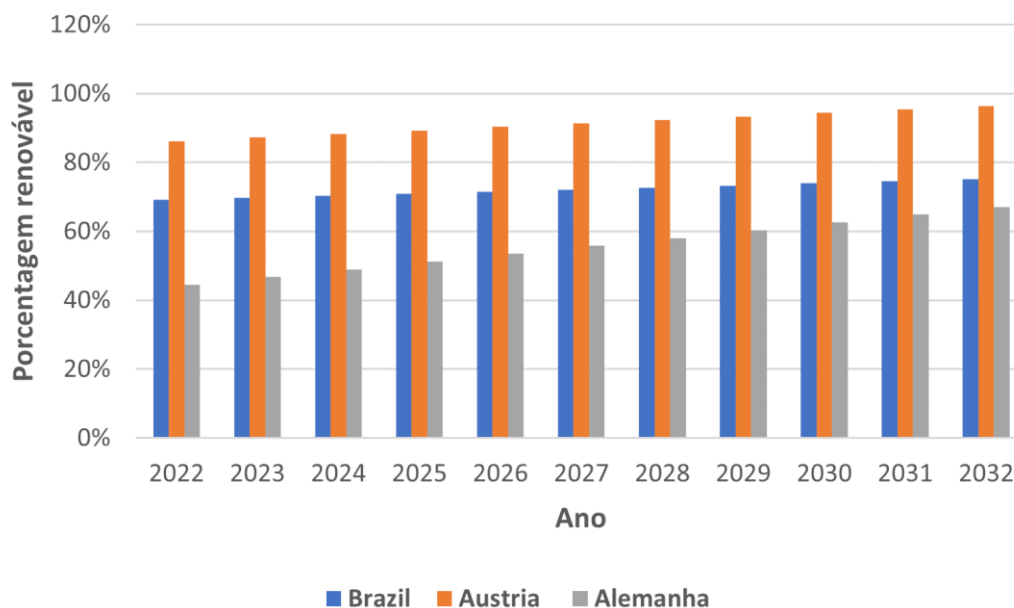


Figura 02: Previsão do crescimento da geração de energia renovável: Brasil, Áustria e Alemanha (2022-2030).

Como observado na Figura 2, as projeções para os próximos 10 anos indicam que a Áustria seguirá na liderança com sua matriz energética composta por 96,4% de fontes renováveis esperadas para o ano de 2032. O Brasil e a Alemanha também demonstram avanços significativos, com projeções de 75,1% e 67,1% de fontes renováveis, respectivamente. Esses dados refletem os esforços contínuos desses países em promover a sustentabilidade e reduzir a dependência de fontes fósseis, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, especialmente o ODS 7, que busca assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos, como parte da Agenda 2030.

No cenário de tal projeção, a Áustria, com sua matriz quase inteiramente renovável, continua a investir fortemente em hidrelétrica, solar e eólica. O Brasil, aproveitando seu vasto potencial de energia solar e eólica, além de sua tradicional dependência da hidrelétrica, segue um caminho robusto de diversificação e expansão das energias limpas. A Alemanha, por sua vez, mantém uma abordagem equilibrada, combinando fontes renováveis como a eólica e solar com a energia nuclear e gás natural, enquanto gradualmente reduz o uso de lignite e outras fontes fósseis.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Nesse sentido, torna-se relevante comparar e avaliar a previsão de descarbonização integral da matriz energética de cada país pelo modelo linear adotado, com as metas de descarbonização estabelecidas em suas políticas energéticas. A Figura 03 ilustra, em um gráfico de linhas, o ano esperado em que cada país terá 100% de uso de fontes renováveis, conforme a tendência de crescimento observada entre 2013 e 2021.

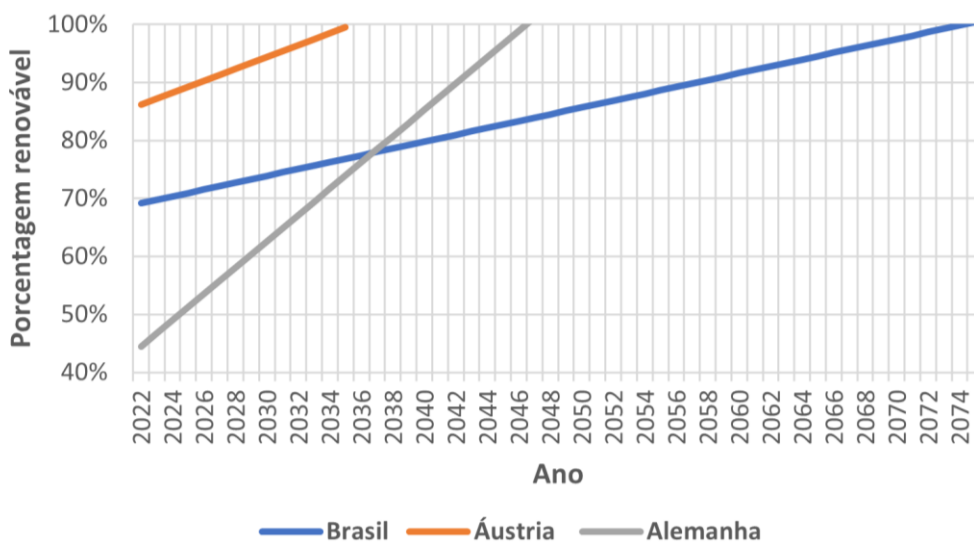
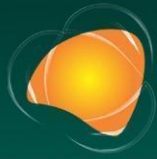


Figura 03: Previsão de descarbonização da produção primária de energia: Brasil, Áustria e Alemanha (2022-2030).

A curva laranja, representando a Áustria, é a primeira que chega aos 100%. Visualizando o eixo das abscissas, verifica que o período correspondente a tal feito é relativo ao ano de 2035. Isto não está de acordo com a meta de alcançar 100% de energia renovável no cabaz de eletricidade até 2030, conforme objetivado pela nação com base no plano “Missão 2030”. Isto implica que são necessários investimentos e incentivos adicionais para que, nos próximos anos, a taxa de crescimento de renováveis seja superior à dos últimos 9 anos.

A curva cinza, representando a Alemanha, é a segunda que chega aos 100%. Verifica-se que o período correspondente equivale ao ano de 2046. Em conformidade com a iniciativa *Energiewende*, a nação estará em linha para cumprir as metas estabelecidas de alcançar 50% de fontes renováveis até



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

2030 e 80% até 2050. Outrossim, com base na diretiva revista relativa às energias renováveis em novembro de 2016, Diretiva 2018/2001/UE, ambas nações europeias, Áustria e a Alemanha, segundo a projeção do estudo estão em conformidade com o objetivo de uma quota mínima de 32% de energias renováveis até 2030.

A curva azul, representando o Brasil, chega aos 100% por volta do ano de 2074. Embora com uma defasagem considerável de transição de matriz energética para fonte renováveis, com base nos atuais esforços e nas políticas implementadas, o Brasil tem potencial para cumprir as metas de sua NDC para 2025 e 2030, especialmente se continuar a expandir sua capacidade de energias renováveis e conseguir controlar o desmatamento. No entanto, o cumprimento integral dessas metas dependerá da eficácia das ações para reduzir as emissões provenientes do uso da terra e da implementação de políticas ambientais mais rigorosas. Portanto, enquanto as metas são ambiciosas, elas são alcançáveis com a intensificação dos esforços atuais.

Um ponto de intersecção interessante apresentando no gráfico corresponde ao ano de 2037, momento este em que a porcentagem renovável de produção primária de energia da Alemanha se equivale a do Brasil. Portanto, se o Brasil seguir com a tendência de produção expressa entre o período de 2013 e 2021, será ultrapassado pela Alemanha dentre os próximos 15 anos. Isso representa um gargalo na tecnologia de produção limpa de energia do Brasil em comparação com a Alemanha.

CONCLUSÕES

Com base nos dados coletados e nas tendências observadas entre 2013 e 2021, observa-se que o objetivo principal do trabalho foi alcançado, comparou-se o crescimento das energias renováveis no Brasil, Áustria e Alemanha, analisando suas projeções e metas de descarbonização, verificando que a Alemanha apresentou o crescimento mais acentuado no uso de fontes renováveis, seguida da Áustria e, por último, o Brasil.

As projeções indicam que a Áustria alcançará cerca de 96,4% de renováveis em sua matriz energética até 2032, reforçando seu compromisso com a descarbonização. A Alemanha, por sua vez,



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

manterá um ritmo constante de crescimento, com expectativa de atingir 67,1% de renováveis até 2030. O Brasil, apesar de seu vasto potencial, apresenta um crescimento mais lento, com projeções de 75,1% de energias renováveis no mesmo período.

Conclui-se que, embora todos os países estejam avançando na transição para uma matriz energética mais limpa, a Áustria e a Alemanha estão mais alinhadas com suas metas climáticas de longo prazo. O Brasil ainda enfrenta desafios, mas pode melhorar seu desempenho com a intensificação de políticas públicas e investimentos em tecnologias renováveis. Para garantir que as metas de descarbonização sejam atingidas, é fundamental que as nações ajustem suas estratégias energéticas com base nas tendências atuais e nos compromissos internacionais.

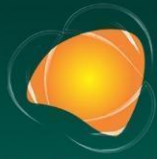
AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2024/10600-0; pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás—PRH-ANP/MCTI, em particular o PRH-ANP 34.1 FEG/UNESP.

REFERÊNCIAS

AG Energiebilanzen E.V. Share of energy sources in gross German power production in 2022. Disponível em: <https://ag-energiebilanzen.de/datenundfakten/zusatzinformationen/>. Acesso em 17 de setembro de 2024.

BMNT; BMVIT. #Mission2030: Die Österreichische Klima- und Energiestrategie. 2018. Disponível em: <https://www.global2000.at/sites/global/files/Analyse-KlimaEnergiestrategie2018.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2024.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

BMUB. Climate Protection Plan 2050; Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety. 2016. Disponível em: https://ec.europa.eu/clima/sites/its/its_de_en.pdf. Acesso em 17 de setembro de 2024.

Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. EPE: Rio de Janeiro, Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em 17 de setembro de 2024.

Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em 17 de setembro de 2024.

Energie in Österreich. Zahlen, Daten, Fakten. 2022. Disponível em: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>. Acesso em 17 de setembro de 2024.