

Análise do impacto das emissões embutidas da eletricidade renovável na intensidade de carbono de eletrocombustíveis sob o marco ZNZF da IMO



**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**



Ministro de Estado
Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário-Executivo
Gustavo Cerqueira Ataíde

Secretário Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Renato Cabral Dias Dutra

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e
Ambientais**

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Reinaldo da Cruz Garcia

**Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e
Biocombustíveis**

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa
Carlos Eduardo Cabral Carvalho

<http://www.epe.gov.br>

■ Equipe

INFORME EPE/DPG/SDB/03/2026

Coordenação Executiva

Angela Oliveira da Costa

Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

Rafael Barros Araujo

Rachel Martins Henriques

Equipe Técnica

Angela Oliveira da Costa

Arthur Cortez Pires de Campos

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

Rafael Belém Lavrador

Estagiário

João Pedro Rachid Braga



MARÇO 2026

VALOR PÚBLICO

A EPE REALIZA ESTUDOS E PESQUISAS PARA SUBSIDIAR A FORMULAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA POLÍTICA E DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO. OS ELETROCOMBUSTÍVEIS SÃO ALTERNATIVAS PROMISSORAS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DE DIVERSOS SETORES, INCLUINDO O SETOR DE TRANSPORTE MARÍTIMO. COM ESTE INFORME, A EPE DISPONIBILIZA UMA ANÁLISE TÉCNICA DO IMPACTO DA LOCALIDADE GEOGRÁFICA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL NA INTENSIDADE DE CARBONO DESSES COMBUSTÍVEIS, TOMANDO COMO BASE OS ÍNDICES REGIONAIS DE POTENCIAL EÓLICO E SOLAR. ESSAS INFORMAÇÕES PERMITEM O REFINAMENTO DAS POSIÇÕES BRASILEIRAS PARA ACORDOS INTERNACIONAIS, DE FORMA A REDUZIR ASSIMETRIAS E CONTRIBUIR COM O ESTABELECIMENTO DE PROGRAMAS INTERNACIONAIS DE DESCARBONIZAÇÃO QUE SEJAM JUSTOS, COMPETITIVOS E QUE RESULTEM EM UMA EFETIVA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM NÍVEL GLOBAL.

Sumário

1. Objetivo	6
2. Introdução.....	6
3. Metodologia.....	7
3.1. Análise de ciclo de vida (ACV)	7
3.1.1. Produção de combustível.....	7
3.1.2. Transmissão e distribuição.....	7
3.1.3. Armazenamento e carregamento.....	8
3.1.4. Uso do combustível em navio.....	8
3.2. Análise de localidades adequadas.....	8
4. Resultados.....	8
5. Considerações Finais.....	11
6. Referências.....	12

■ Lista de Ilustrações

Imagem 1- Irradiação anual global. Fonte: Global Solar Atlas.	10
Imagem 2 – Fator de capacidade eólico global para turbinas da classe IEC III. Gerado a partir de Global Wind Atlas.	11

■ Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Intensidades de carbono de e-amônia (emissões de uso médias e com melhores práticas para produção de motores) e e-metanol em função das emissões embutidas da eletricidade utilizada.	9
Gráfico 2 - Correlação obtida entre as emissões embutidas de energia solar fotovoltaica o fator de irradiação obtidos na literatura.....	10
Gráfico 3 - Correlação obtida entre as emissões embutidas de energia eólica o fator de capacidade obtidos na literatura.	11

1. Objetivo

O objetivo deste estudo é analisar o potencial de descarbonização da e-amônia e do e-metanol como eletrocombustíveis, a partir de uma avaliação da sensibilidade da intensidade de carbono do seu ciclo de vida completo (*well-to-wake*) às emissões embutidas na eletricidade renovável utilizada em sua produção. O estudo investiga como variações nos fatores de capacidade da geração eólica e nos níveis de irradiação solar para sistemas fotovoltaicos afetam a intensidade de carbono final desses combustíveis.

Dentre os diversos setores que podem ser usuários de eletrocombustíveis de baixo carbono, destaca-se o setor de transporte, sobretudo os que se encontram na categoria de difícil abatimento como o aéreo e marítimo. O setor aéreo tem encontrado possibilidades de descarbonização em aumento de eficiência das aeronaves e no amadurecimento da produção de combustíveis sustentáveis de aviação (*sustainable aviation fuels* - SAF), dentre os quais hidrocarbonetos sintéticos emergem como opção promissora. O setor marítimo encara outros desafios e o uso de eletrocombustíveis pode ser uma das alternativas para a descarbonização deste segmento, com maior destaque, nesse caso, para e-metanol e e-amônia.

Neste sentido, focando em apresentar possibilidades para o setor marítimo, este trabalho busca identificar os patamares mínimos de desempenho energético e as regiões geográficas no globo onde a produção de e-amônia e e-metanol, a partir de eletricidade solar fotovoltaica e eólica, é capaz de atender ao limite de 19 g CO₂e/MJ definido pela Organização Marítima Internacional (IMO) para a classificação de combustíveis como zero ou near-zero (ZNZF) no período de 2028 a 2034. Adicionalmente, o estudo fornece subsídios quantitativos para a discussão sobre a viabilidade ambiental desses combustíveis no contexto das políticas internacionais de descarbonização do setor marítimo, contribuindo para o entendimento do papel das condições regionais de geração renovável na elegibilidade de eletrocombustíveis aos mecanismos de incentivo previstos no marco regulatório da IMO.

2. Introdução

Os eletrocombustíveis são avaliados como opções promissoras para a descarbonização do transporte de difícil abatimento. Eles são produzidos a partir de hidrogênio gerado pela eletrólise de água usando energia elétrica renovável, de forma que as emissões embutidas¹ de tal energia podem afetar significativamente a magnitude das emissões de gases de efeito estufa associadas ao ciclo de vida desses combustíveis. Fatores como a irradiação média anual da região considerada (no caso da energia solar fotovoltaica) e o fator de capacidade da geração (para o caso da energia eólica) influenciam diretamente o impacto que tais emissões embutidas geram na intensidade de carbono do eletrocombustível produzido, sendo, portanto, aspectos-chave para avaliação do potencial de descarbonização desses combustíveis.

No segmento aéreo, hidrocarbonetos sintéticos se destacam como opções promissoras de eletrocombustíveis. Já no segmento marítimo, outras opções têm atraído grande interesse da comunidade internacional, com destaque para e-amônia e e-metanol. No âmbito da estrutura *net-zero* estabelecida pela Organização Marítima Internacional (IMO), o valor de 19 g CO₂e / MJ foi definido como limite de intensidade de carbono para classificação de um combustível como “zero OR near-zero fuel” (ZNZF) no período de 2028 a 2034, sendo os ZNZFs elegíveis para a geração de mecanismos de recompensa pelo uso de combustíveis de baixo carbono. A medida abrange o escopo do “poço-à-propulsão” (*well-to-wake* - WtW), o que inclui as etapas de produção do combustível, seu transporte, armazenamento, carregamento e uso nos navios.

Neste estudo, uma análise de sensibilidade foi realizada de forma a identificar quais patamares de fator de capacidade para essas fontes, de acordo com a intensidade dos ventos para energia eólica e insolação para energia solar, são capazes de gerar e-amônia e e-metanol cumprindo o limite para ZNZF as tecnologias citadas, considerando o impacto das emissões embutidas de cada fonte renovável. A partir disso, foram identificadas as regiões no globo onde se concentram tais oportunidades.

¹ Aquelas relacionadas ao seu ciclo de vida, como a fabricação e a instalação de painéis solares e turbinas eólicas, por exemplo.

3. Metodologia

3.1. Análise de ciclo de vida (ACV)

As emissões WtW da e-amônia e do e-metanol foram calculadas de acordo com a metodologia descrita nesta seção. O objetivo foi modelar processos que representem as emissões médias globais desses combustíveis.

3.1.1. Produção de combustível

O processo de produção de e-amônia compreende as etapas de purificação do ar para separação do nitrogênio, a eletrólise de água para produção de hidrogênio e a síntese de Haber-Bosch, onde os insumos reagem para gerar amônia. Neste estudo, a purificação do ar ocorre com uma unidade de separação criogênica, tecnologia reconhecida como a mais adequada para altas purezas (ANEKE; WANG, 2015). Para a eletrólise, foi considerada a tecnologia de eletrólise alcalina, considerada como aquela com maior maturidade comercial e menor custo de investimento atualmente (INGWERSEN et al., 2025).

Já o processo de produção de e-metanol compreende as etapas de eletrólise alcalina da água para produção de hidrogênio e síntese do metanol a partir de um processo termocatalítico que reage o hidrogênio com CO, obtido a partir de CO₂. A corrente de CO₂ foi considerada como um insumo direto do reator. O CO₂ pode ser oriundo de captura direta do ar (DAC) ou da captura de gases industriais. Ademais, a corrente foi considerada como livre de emissões, sob a premissa de que ela será renovável (no caso de DAC e/ou carbono biogênico) ou que as emissões dessas correntes já terão sido alocadas ao processo industrial anterior do qual se origine o CO₂ (no caso de carbono fóssil).

O inventário de ciclo de vida² dos processos foi baseado majoritariamente em outros estudos de análise de ciclo de vida (D'ANGELO et al., 2021; HANK et al., 2019), considerando todas as etapas descritas. O consumo de eletricidade da unidade de separação do ar, especificamente, foi baseado em Aneke e Wang (2015). O consumo de eletricidade para circulação de água de resfriamento foi modelado a partir de Schulze et al. (2019) e Li e Flynn (2021).

As emissões de gases de efeito estufa associadas aos insumos e utilidades (exceto eletricidade) foram obtidas na base de dados Ecoinvent 3.11, a partir de valores globais.

Para a eletricidade, as emissões de gases de efeito estufa foram consideradas como um parâmetro de sensibilidade. Assim, a análise de ciclo de vida foi realizada variando-se os valores de emissões embutidas associadas às fontes renováveis (solar e eólica) entre 10 e 100 g CO₂e / kWh. Dessa forma, correlações foram obtidas entre a emissão total dos combustíveis e as emissões embutidas da eletricidade.

3.1.2. Transmissão e distribuição

Para o e-metanol, os consumos de fontes energéticas características para transmissão e distribuição foram obtidos a partir do modelo GREET (ARGONNE NATIONAL LABORATORY, 2023).

A transmissão de e-amônia, no contexto de seu uso como combustível, foi considerada como ocorrendo de maneira intracontinental, através de dutos, balsas e trens, com as respectivas distâncias e cargas médias sendo calculadas a partir de dados de Bonnet-Cantalloube et al. (2023) e Kruse et al. (2012). Para a distribuição do combustível, considerou-se o uso de caminhões, com uma distância média de 50 km.

As emissões associadas a esses meios de transporte foram obtidas na base de dados Ecoinvent 3.11. Para o transporte de e-amônia em dutos, foi utilizado o valor reportado para transporte de petróleo como aproximação. As emissões associadas ao uso de gás natural e diesel foram obtidas em IPCC (2022). Para o caso do carvão, utilizou-se o valor reportado em EIA (2024).

² Consumo de insumos e utilidades.

3.1.3. Armazenamento e carregamento

Os consumos de energia associados ao armazenamento e carregamento dos combustíveis em navios foram baseados de Bianchi et al. (2025), e as emissões associadas a esses consumos foram obtidas nas mesmas fontes descritas nas seções anteriores.

3.1.4. Uso do combustível em navio

O uso de e-metanol em motores de navios emite CO_x , NO_x e particulados (BRYNOLF; FRIDELL; ANDERSSON, 2014). De maneira similar ao descrito na seção 3.1, o CO_2 foi considerado neutro em emissões nesta modelagem, de forma que as emissões de gases de efeito estufa da fase de uso de e-metanol foram consideradas nulas.

Para a e-amônia, a geração de N_2O incorre em emissões no uso. Um estudo recente de revisão da literatura submetido à IMO (PACIFIC ENVIRONMENT; CSC; EDF, 2025) reporta uma geração média de 0,5 mg N_2O / g NH_3 . Entretanto, fabricantes de motores anunciam valores significativamente mais baixos (3 ppm ou menos), que resultariam em uma geração de aproximadamente 0,04 mg N_2O / g NH_3 (WINGD, 2025). Neste estudo, considerou-se esses dois casos de maneira distinta, de forma a levar em conta o valor médio global e o melhor caso utilizando-se boas práticas para a produção de motores.

3.2. Análise de localidades adequadas

As emissões embutidas associadas à geração de eletricidade por fonte solar fotovoltaica e eólica dependem de uma série de fatores específicos e podem variar de 18 a 180 g CO_2e / kWh para solar fotovoltaica e de 7 a 56 g CO_2e / kWh para eólica (IPCC, 2014). Parte dessa variação está associada às diferenças regionais de incidência de sol e de ventos.

As referências de literatura utilizadas pelo IPCC para calcular tais valores de emissões foram revistas neste trabalho de forma a identificar correlações entre a irradiação solar anual e o fator de capacidade eólico considerados e os valores de emissões reportados.

Para a energia solar fotovoltaica, o IPCC se baseia majoritariamente na revisão de Hsu et al. (2012), na qual os autores realizaram uma harmonização dos resultados de ACV da literatura considerando a irradiação anual, eficiência de painel, performance da geração e vida útil como parâmetros. A mesma estratégia foi adotada neste trabalho, porém não foi realizada a harmonização relativa à irradiação anual, obtendo-se assim uma nuvem de pontos correlacionando a irradiação anual considerada no estudo e a emissão harmonizada obtida.

Para a energia eólica, o IPCC se baseia majoritariamente na publicação de Arvesen e Hertwich (2012), na qual os autores revisaram uma série de estudos ACV. Todos os estudos que consideraram turbinas com capacidade instalada superior a 1 MW foram revistos neste trabalho, tendo sido obtida outra nuvem de pontos que, nesse caso, correlaciona o fator de capacidade eólico considerado no estudo e a emissão obtida.

A partir desses valores, calculou-se quais seriam os patamares mínimos de irradiação anual e fator de capacidade eólico para se produzir e-amônia e e-metanol com intensidade de carbono abaixo do limite de 19 g CO_2e / MJ. Assim, foi possível avaliar em que localidades do mundo o critério para ZNZF é efetivamente atendido.

4. Resultados

O Gráfico 1 apresenta os resultados do estudo de sensibilidade de estimativa da intensidade de carbono do e-metanol e da e-amônia, de acordo com as emissões embutidas da eletricidade utilizada. Percebe-se que valores baixos de intensidade de carbono de eletricidade são necessários para que os combustíveis atendam à premissa estabelecida para categorização como ZNZF (14,07 g CO_2e / kWh para e-amônia com valor médio de emissões de N_2O ; 26,95 g CO_2e / kWh para e-amônia com implementação de melhores práticas de fabricação de motores; e 28,74 g CO_2e / kWh para e-metanol). A produção de e-metanol é menos sensível aos valores de emissão da eletricidade.

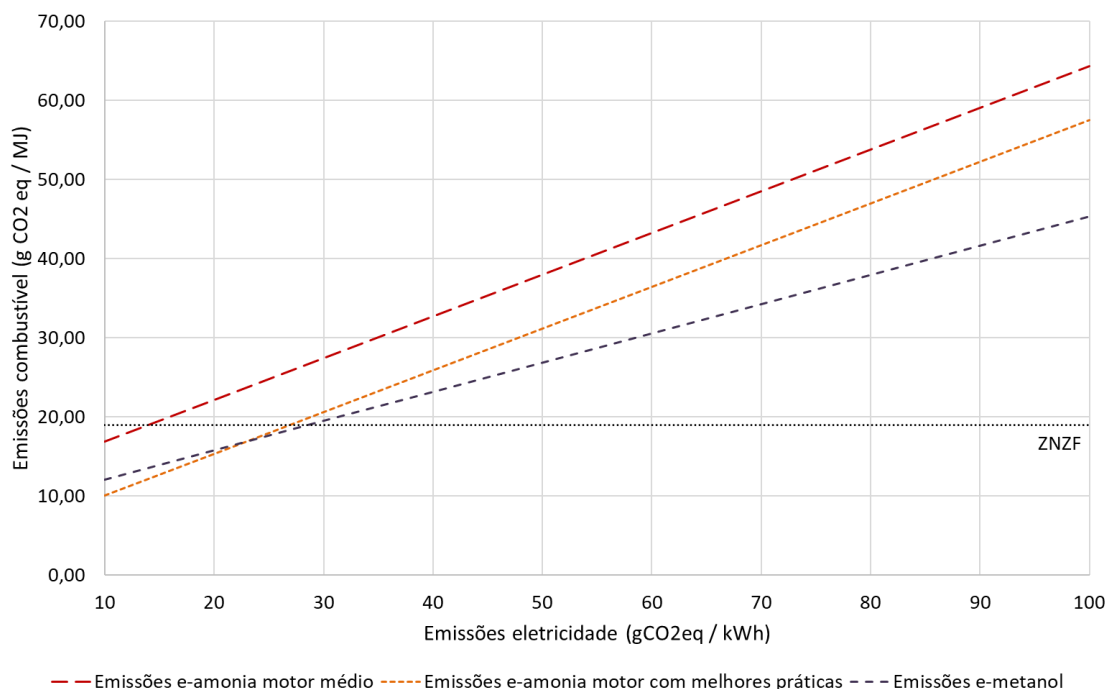


Gráfico 1 – Intensidades de carbono de e-amônia (emissões de uso médias e com melhores práticas para produção de motores) e e-metanol em função das emissões embutidas da eletricidade utilizada.

Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 2 apresenta a intensidade de carbono da eletricidade em função da irradiação anual (solar fotovoltaica) reportada na literatura. Pode-se observar que, em média, para o e-metanol e para a e-amônia (caso de melhores práticas na produção de motores), são necessárias irradiações superiores a aproximadamente 2200 kWh/m²/ano para a produção de ZNZFs, o que se reflete em somente algumas regiões elegíveis, conforme apresentado na Imagem 1.

- América do Sul: grande parte do nordeste brasileiro, região do deserto do Atacama e faixa costeira do Peru;
- América do Norte: maior parte do México e do sudoeste dos Estados Unidos;
- África: maior parte do continente, com exceção de faixa mais equatorial;
- Ásia: Maior parte da península arábica e partes do Irã, Paquistão, Afeganistão e Oeste da China;
- Oceania: maior parte da Austrália.

No caso da e-amônia com emissões de uso médias, a irradiação anual necessária para elegibilidade estaria acima de 2500 kWh/m²/ano, reduzindo ainda mais as áreas possíveis.

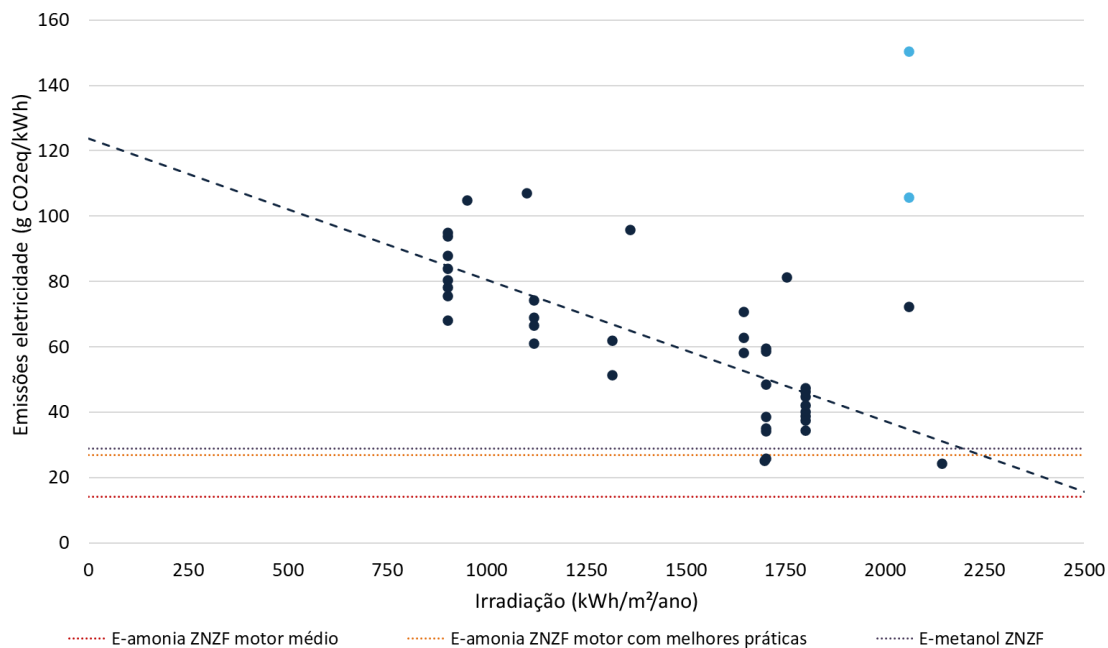


Gráfico 2 - Correlação obtida entre as emissões embutidas de energia solar fotovoltaica e o fator de irradiação obtidos na literatura.

Nota: As linhas horizontais representam a intensidade máxima de carbono da eletricidade, calculada a partir do gráfico 1, para que os combustíveis atendam os limites de ZNZF. Em azul claro, valores da literatura que não foram considerados na regressão linear.

Fonte: Elaboração própria com base em Hsu et al. (2012)

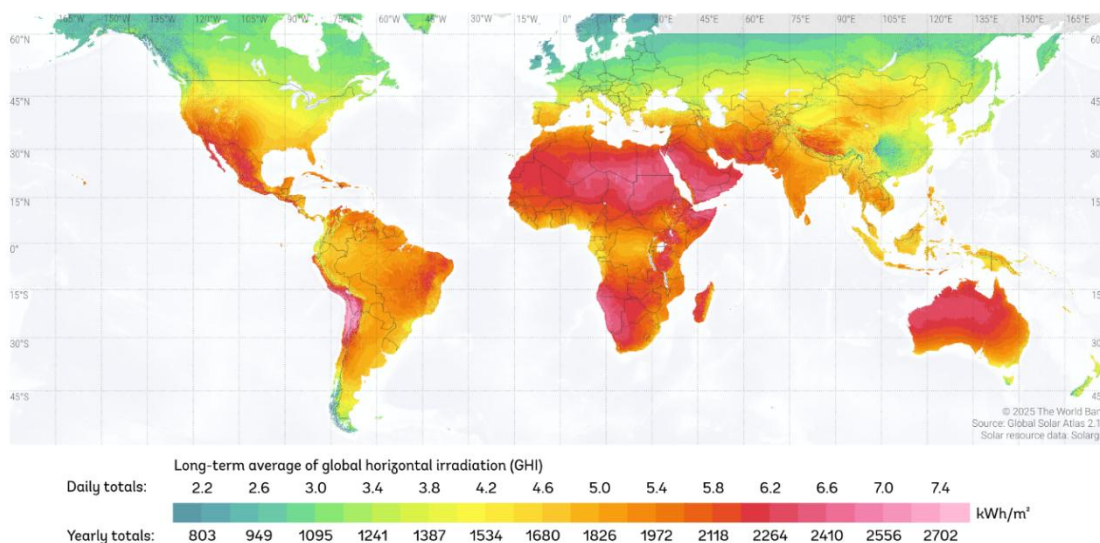
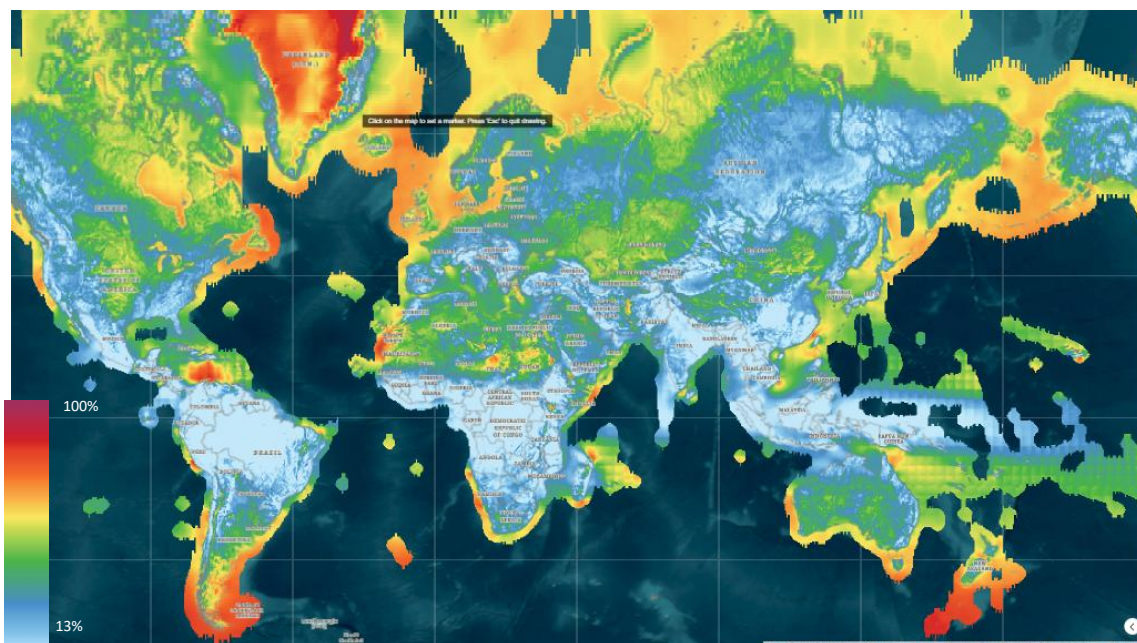
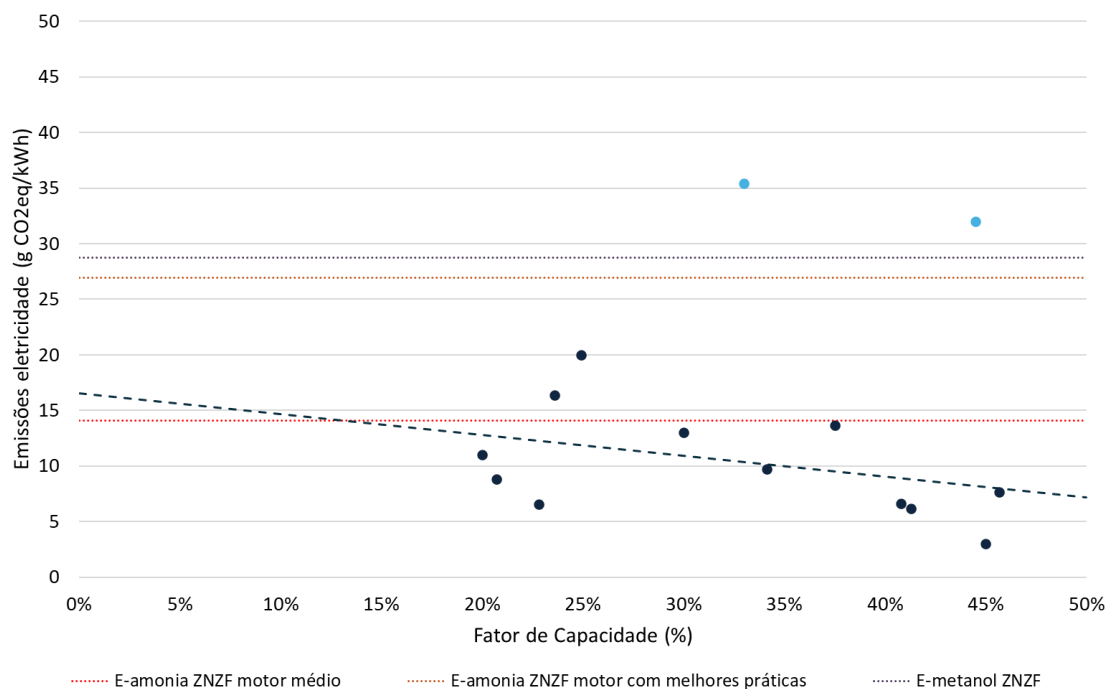


Imagem 1- Irradiação anual global.

Fonte: Global Solar Atlas.

O Gráfico 3 apresenta a intensidade de carbono da eletricidade em função do fator de capacidade eólico reportada na literatura. Neste caso, pode-se observar que, em média, os critérios para produção de ZNZF são atendidos no mundo inteiro para e-metanol e e-amônia (caso com melhores práticas na produção de motores). Já para o caso de e-amônia com emissões de uso médias, são necessários fatores de capacidade eólicos superiores a aproximadamente 13% para elegibilidade, excluindo algumas regiões intertropicais, do interior da Europa e da Ásia e do oeste da América do Norte, como mostra a Imagem 2.



5. Considerações Finais

Os resultados apresentados neste estudo demonstram que fatores como a irradiação anual (especialmente) e o fator de capacidade eólico afetam significativamente a intensidade de carbono de eletrocombustíveis produzidos a partir de energia elétrica renovável. Para o cumprimento do limite mínimo estabelecido para elegibilidade dos combustíveis e-amônia e e-metanol como ZNZFs, é necessário levar esses parâmetros em consideração, de forma

a evitar distorções regionais. Recomenda-se, assim, que a indicação de parâmetros médios regionais mínimos para elegibilidade desses combustíveis seja abordada no âmbito das discussões de diretrizes em programas internacionais.

Ressalta-se que os resultados aqui apresentados constituem simplificações baseadas na correlação linear entre os parâmetros analisados e as emissões embutidas. Nesse sentido, esse documento não pretende ser determinativo quanto ao valor numérico efetivo de limite de irradiação anual ou fator de capacidade eólico a ser adotado, mas sim servir como um indicativo da relevância que esses fatores possuem para o cálculo da intensidade de carbono de eletrocombustíveis, demonstrando a necessidade de o tema ser abordado com mais profundidade em discussões posteriores.

6. Referências

ANEKE, Mathew; WANG, Meihong. Potential for improving the energy efficiency of cryogenic air separation unit (ASU) using binary heat recovery cycles. *Applied Thermal Engineering*, [S. l.], v. 81, p. 223–231, 2015. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.02.034.

ARVESEN, Anders; HERTWICH, Edgar G. Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.06.023.

BIANCHI, Fiammetta Rita; RISSO, Riccardo; CARDONA, Lucia; BOVE, Dario; CANNIZZARO, Fabio; BONARDI, Luca; PALMISANI, Ezio; BOSIO, Barbara. Feasibility analysis of e-Hydrogen, e-Ammonia and e-Methanol synthesis compared with methane to fuel production. *Fuel*, [S. l.], v. 384, 2025. DOI: 10.1016/j.fuel.2024.133938.

BONNET-CANTALLOUBE, Bastien; ESPITALIER-NOËL, Marie; FERRARI DE CARVALHO, Priscilla; FONSECA, Joana; PAWELEC, Grzegorz. Clean Ammonia in the Future Energy System. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/03/2023.03_H2Europe_Clean_Ammonia_Report_DIGITAL_FINAL.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 24 ago. 2025.

BRYNOLF, Selma; FRIDELL, Erik; ANDERSSON, Karin. Environmental assessment of marine fuels: Liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 74, p. 86–95, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.03.052.

D'ANGELO, Sebastiano Carlo; COBO, Selene; TULUS, Victor; NABERA, Abhinandan; MARTÍN, Antonio José; PÉREZ-RAMÍREZ, Javier; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, Gonzalo. Planetary Boundaries Analysis of Low-Carbon Ammonia Production Routes. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, [S. l.], v. 9, n. 29, p. 9740–9749, 2021. DOI: 10.1021/acssuschemeng.1c01915.

EIA. Carbon Dioxide Emissions Coefficients. 2024.

Argonne National Laboratory. GREET model. 2023.

HANK, Christoph; LAZAR, Lukas; MANTEI, Franz; OUDA, Mohamed; WHITE, Robin J.; SMOLINKA, Tom; SCHAADT, Achim; HEBLING, Christopher; HENNING, Hans Martin. Comparative well-to-wheel life cycle assessment of OME3-5 synfuel production via the power-to-liquid pathway. *Sustainable Energy and Fuels*, [S. l.], v. 3, n. 11, p. 3219–3233, 2019. DOI: 10.1039/c9se00658c.

HSU, David D.; O'DONOUGHUE, Patrick; FTHENAKIS, Vasilis; HEATH, Garvin A.; KIM, Hyung Chul; SAWYER, Pamala; CHOI, Jun Ki; TURNER, Damon E. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Crystalline Silicon Photovoltaic Electricity Generation: Systematic Review and Harmonization. *Journal of Industrial Ecology*, [S. l.], v. 16, n. SUPPL.1, 2012. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00439.x.

INGWERSEN, Anna; HAHN MENACHO, Alvaro J.; PFISTER, Stephan; PEEL, Jonathan N.; SACCHI, Romain; MORETTI, Christian. Prospective life cycle assessment of cost-effective pathways for achieving the FuelEU Maritime Regulation targets. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 958, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177880.

IPCC. Climate change 2014: mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [s.l.] : Cambridge University Press, 2014.

IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Mitigation of Climate Change. [s.l.: s.n.]. Disponível em: www.ipcc.ch.

KRUSE, C. James; PROTOPAPAS, Annie; OLSON, Leslie E.; DONELAN, Mike; HUTSON, Nathan. Current Operating Environment. *Em: Marine Highway Transport of Toxic Inhalation Hazard Materials*. Washington: National Cooperative Freight Research Program, 2012.

LI, Shuo; FLYNN, M. R. Cooling tower plume abatement and plume modeling: a review. *Environmental Fluid Mechanics* Springer Science and Business Media B.V., , 2021. DOI: 10.1007/s10652-021-09790-w.

PACIFIC ENVIRONMENT; CSC; EDF. Review of current literature on tank-to-wake nitrous oxide emissions from ammonia-fueled engines. [s.l.] 2025. Disponível em: <https://cleanshipping.org/wp-content/uploads/2025/02/MEPC-83-7-23-Review-of-current-literature-on-tank-to-wake-nitrous-oxide-emissions-fromammonia-fueled-en.-Pacific-Environment-CSC.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

SCHULZE, Christine; THIEDE, Sebastian; HERRMANN, Christoph. Life Cycle Assessment of Industrial Cooling Towers. *Em: Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. [s.l.] : Springer, 2019. p. 135–146. DOI: 10.1007/978-3-319-92237-9_15.

WINGD. WinGD delivers exceptional results in full-load X-DF-A ammonia engine test. 2025. Disponível em: <https://wingd.com/news-media/news/wingd-delivers-exceptional-results-in-full-load-x-df-a-ammonia-engine-test>. Acesso em: 24 ago. 2025.