

# H2 BRASIL



Coleção 1: **CONCEITOS DO H2 POWER-TO-X**



VOLUME 1

# A Transição Energética para o Carbono Zero (H2 Pt- X)

THORSTEN SCHNEIDERS, INGO STADLER, VICTOR N. BISTRITZKI,  
JÚLIA TEIXEIRA FERNANDES, AURÉLIO LAMARE SOARES MURTA



Por meio da:



Apoio:



Organização:



## A Transição Energética para o Carbono Zero (H2 Pt- X)

### Projeto H2Brasil – Expansão do Hidrogênio Verde

#### Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável (Componente 03 – Capacitação)

**Implementação:** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

- Diretor: Markus Francke
- Coordenador: Martin Studte

**Coordenação Geral:** INTEGRATION / GOPA\_INTEC

- Coordenação: Klaus-Peter Albrechtsen
- Especialista: Lothar Hoppe
- Especialista: Rosana Z. Domingues
- Tradução: Francisco Polatscheck
- Revisão: Victor N. Bistritzki

**Coordenação dos Cursos e Livros:** Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética

- Coordenação Geral dos cursos: Júlia Teixeira Fernandes
- Coordenação Acadêmica: Aurélio Lamare Soares Murta
- Coordenação Operacional: Roney Ramaiano de Souza Silva
- Coordenação Pedagógica: Ariane Louzada Sasso Ferrão
- Tutoria acadêmica e pedagógica: Bianca Zorzetto Carniel Furquim
- Tutoria acadêmica e pedagógica: Isabelle Freire Sousa

## A Transição Energética para o Carbono Zero (H2 Pt- X)

### Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

A transição energética para o carbono zero (H2 Pt-X) [livro eletrônico] : volume 1 / Thorsten Schneiders...[et al.]. -- Brasília, DF: LaSUS FAU, 2023. (Coleção 1 : conceitos do H2 power-to-X.) PDF

Outros autores: Ingo Stadler, Victor N. Bistrizki, Júlia T. Fernandes, Aurélio L. S. Murta.  
Bibliografia.

ISBN 978-65-84854-22-8

1. Carbono 2. Energia 3. Hidrogênio Verde  
4. Fontes energéticas renováveis 5. Transição Energética - Brasil 4. Mudanças climáticas

I. Série.

23-177143

CDD-333.794

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil : Energias renováveis : Desenvolvimento sustentável : Economia 333.794

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

### Dados editoriais:

**Editora:** LaSUS FAU UnB

**Equipe editorial:**

- Professor Dr. Caio Frederico e Silva (ed)
- Professora Dra. Marta Bustos Romero(ed)
- Coordenador Técnico: Valmor Cerqueira Pazos



UnB Estante digital: <https://livros.unb.br/>

## A Transição Energética para o Carbono Zero (H2 Pt- X)\*



*\*Esse livro tem como referência a transcrição e adaptação das aulas do Curso 1-Modulo 1, H<sub>2</sub>Brasil, 2023.*

### Conteúdo das aulas:

THORSTEN SCHNEIDERS  
INGO STADLER  
VICTOR NIKOLAUS BISTRITZKI

### Adaptação para livro:

JÚLIA TEIXEIRA FERNANDES  
AURÉLIO LAMARE SOARES MURTA

### Organização do livro:

KLAUS-PETER ALBRECHTSEN  
LOTHAR HOPPE  
ROSANA ZACARIAS DOMINGUES

## A Transição Energética para o Carbono Zero (H2 Pt- X)

### Dr. Thorsten Schneiders

Cologne University of Applied Sciences | [thorsten.schneiders@th-koeln.de](mailto:thorsten.schneiders@th-koeln.de)

Possui doutorado pela *Ruhr-Universität de Bochum*, Bochum, Alemanha; Pesquisador do Instituto de Energias Renováveis de Colônia e Professor na área de Armazenamento de Energia, Casa Inteligente, Energia Inteligente na indústria energética; Pesquisa nas áreas de energias renováveis nos países em desenvolvimento: fornecimento de energia sustentável com energias renováveis; Energia solar em combinação com geradores a diesel e armazenamento de bateria; Chefe do “*Virtual Institute Smart Energy*” (VISE), que é uma plataforma para atuação acadêmica e em empresas.

### Dr. Ingo Stadler

Cologne University of Applied Sciences | [ingo.stadler@th-koeln.de](mailto:ingo.stadler@th-koeln.de)

Possui doutorado e professor de Energias Renováveis e Economia da Energia no *Karlsruher Institut für Technologie* (KIT) na Alemanha, que combina o ensino e a investigação de uma forma interdisciplinar; Membro do Instituto de Engenharia de Energia Elétrica (IET); Experiência de ensino, pesquisa e projeto na área de Energia Renovável, Armazenamento de Energia, Integração de energias renováveis nas estruturas de abastecimento; Gestão de energia em sistemas de rede e Projetos relacionados ao Brasil com relação a aplicação do Hidrogênio Verde com energias renováveis.

### Dr. Victor Nikolaus Bistrizki

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) | [bistrizki@ufmg.br](mailto:bistrizki@ufmg.br)

Possui mestrado e doutorado em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2021), conectando competências pessoais e organizacionais com o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Tem experiência atuando principalmente nos seguintes temas: projetos tecnológicos, startups e empreendedorismo de modelos de negócios, energia renovável, inovação de biotecnologias, tecnologias de hidrogênio, panorama de patentes; ensino sobre tecnologias de hidrogênio, alterações climáticas, transição energética e tecnologias de hidrogênio no Brasil e Alemanha.

### Dra. Júlia Teixeira Fernandes

Universidade de Brasília (UnB) e Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética | [julia@quali-a.com](mailto:julia@quali-a.com)

Arquiteta e Urbanista; Doutora pela FAU-UnB, pesquisadora no LaSUS, LACAM e SiCAC, nas áreas de Sustentabilidade, Bioclimatismo, Conforto Ambiental, Desempenho Térmico e Lumínio, Eficiência Energética, Qualidade Ambiental e Simulação Computacional. Realiza consultorias e capacitações especializadas, em especial, de Etiquetagem de Eficiência Energética das Edificações (PROCEL-EDIFICA/MME), Normas, Certificações, Neroarquitetura e Biofilia. Professora de pós do IPOG e sócia da Quali-A, implatada no Impact Hub-Brasília. Fundadora do IDB (Instituto Design Biofílico).

### Dr. Aurélio Lamare Soares Murta

Universidade Federal Fluminense (UFF) | [aureliomurta@id.uff.br](mailto:aureliomurta@id.uff.br)

Graduado em Engenharia Civil, Mestrado em Transportes (IME), Doutorado e Pós-doutorado em transporte e Planejamento Energético e Ambiental UFRJ. É Professor da UFF no Mestrado e Graduação em Administração, Coordenador do MBA em Logística Empresarial, além de Pesquisador do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais/UFRJ. Membro Imortal da Academia Brasileira de Ciências, Artes, História e Literatura (ABRASCI). Áreas de atuação incluem Engenharia de Transportes, Planejamento e Operação Logística, Gerenciamento de Projetos, Pesquisa Operacional e Simulação.

## A Transição Energética para o Carbono Zero (H2 Pt- X)

### Me. Klaus-Peter Albrechtsen

Integration – International Management Consultants GmbH / GIZ | [klausalbrechtsen@yahoo.de](mailto:klausalbrechtsen@yahoo.de)

Mestrado em Eletrotécnica de Potência e em Educação Profissional pela Universidade de Hamburgo/Alemanha. Especialista nas áreas de energias renováveis, eficiência energética, gestão de projetos, desenvolvimento organizacional, gestão e desenvolvimento de recursos humanos. Mais de 30 anos de experiência na prestação de respectivos serviços de consultoria em mais de 20 países.

### Esp. Lothar Hoppe

Integration / Gopa\_Intec / GIZ | [lotharhoppe@outlook.com](mailto:lotharhoppe@outlook.com)

Engenheiro eletricista com pós-graduação em eficiência energética e gestão de energia pela PUCRS. Com vasta experiência em: consultoria e auditoria nas áreas de eficiência energética, gerenciamento de energia, economia de energia e sistemas de energia renovável, instrutor e professor em energia renovável em empresas e instituições de ensino com SENAI, PUCRS e outras. Atua nas áreas de Solar térmica, fotovoltaica, eólica, biomassa e hidrogênio.

### Dra. Rosana Zacarias Domingues

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Integration/GIZ | [dominguesrz@gmail.com](mailto:dominguesrz@gmail.com)

Doutorado pelo *Institut National Polytechnique de Grenoble*-França- INPG; Bacharel, Licenciada e Mestre em Química pela UFMG e doutora em Eletroquímica de Sólidos- pelo INPG (*Institut National Polytechnique*), Grenoble-França- INPG). Especialista no projeto H2Brasil BR-AL (GIZ-MME) de cursos de capacitação, coordena projetos para criação de ação de novos produtos e serviços com equipes multidisciplinares em empresas (CEMIG, EMBRAER, Magnesita etc.) nas áreas de células a combustível, biomateriais e eletroquímica. Participa dos programas de Pós-Graduação -PPGIT/UFMG.

### Me. Francisco Polatscheck

WordWise tradução simultânea e escrita | [wordwisebh@gmail.com](mailto:wordwisebh@gmail.com)

Mestrado em Língua Inglesa pela UFMG; Certificate of Proficiency in English (Cambridge); Coordenador de Intérpretes de Conferências e Tradutores Pós-Graduados com mais de vinte anos de atuação no Brasil e exterior. Especialista em Tradução e Escrita Simultânea (Port < > Ingl; Esp > Port/Ingl).



Por meio da:



Coordenação do curso:



# A Transição Energética para o Carbono Zero (*Power-to-X*)

THORSTEN SCHNEIDERS, INGO STADLER, VICTOR N. BISTRITZKI,  
JÚLIA TEIXEIRA FERNANDES, AURÉLIO LAMARE SOARES MURTA

---

Brasília-DF, 2023

## Objetivo do livro e proteção aos direitos autorais

Ressaltamos que o conteúdo do livro, segue uma estrutura textual de transcrição de aulas online, com formato didático e informal. A linguagem é acessível, para todos os profissionais, que estão tendo a primeira aproximação com o tema Hidrogênio Verde por meio dos cursos.

Como foram inúmeras solicitações para novas turmas, a coordenação geral dos cursos, avaliou a relevância de todo o conteúdo gerado no projeto, encarando a confecção dos 10 livros como uma oportunidade de democratizar esse conhecimento no Brasil.

Assim, a leitura desse livro, também deve ser feita com esse propósito: uma oportunidade de “ler/ouvir” esses grandes especialistas, durante uma aula sobre H<sub>2</sub>Verde. Por isso, o objetivo do livro é ter um caráter técnico, com uma abordagem didática das informações, conteúdos e exemplos ilustrativos, de fácil compreensão, com o propósito de garantir a aprendizagem.

O livro não substitui as publicações e referências acadêmicas sobre o assunto. Para isso, sugerimos conhecer o currículo lattes, a biografia, as publicações (livros e artigos), pesquisas e trabalhos técnicos (de universidades, laboratórios e empresas), desenvolvidos pelos professores conteudistas e especialistas, que são grandes referências no tema no Brasil e mundo.

Lembramos que todo o conteúdo reunido foi fruto de uma iniciativa inédita no país. Reforçamos que todo criador de uma obra intelectual tem seu direito autoral garantido sobre a sua criação. Esse direito é exclusivo dos autores (art. 5.º, XXVII, da Constituição Federal), constitui-se de um direito moral (criação) e um direito patrimonial (pecuniário). Segundo a Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, este material está protegido pela lei de direito autoral.

Solicitamos que qualquer reprodução, parcial ou integral, seja referenciada com a devida autoria e solicitada uma autorização dos autores.

Quanto às imagens utilizadas, suas fontes estão especificadas, e alertamos que o livro não é, e não pode, ser comercializado. O conteúdo é fruto da transcrição das aulas dos professores no Projeto H<sub>2</sub>Brasil, que tem o intuito de disseminar o conhecimento no Brasil. Seu uso é exclusivamente didático, utilizando as imagens para fins de estudo ou crítica sobre o assunto em questão.

## Apresentação

O contexto mundial de transição energética para uma economia com zero emissões de carbono prioriza o uso de energias renováveis como a solar, a eólica e a hídrica em oposição as oriundas de fontes fósseis. Entretanto, um dos desafios do uso de tais fontes surge pelo fato delas serem intermitentes e não armazenáveis e, portanto, devem ser utilizados localmente ou enviadas para uma rede de distribuição.

No Brasil, a capacidade de produção de energia a partir das fontes renováveis é enorme, podendo gerar, em certos momentos, um excedente de energia. O hidrogênio,  $H_2$ , surge então como uma forma de armazenar estas energias. O  $H_2$ , que é um vetor energético, pode ser obtido através de diferentes rotas, com baixa ou nula emissão de carbono. Caso, a energia usada seja renovável, o  $H_2$  produzido via eletrólise é denominado  $H_2$  Verde.

Em uma de suas ações, o **Projeto  $H_2$  Brasil Power-to-X** previu a capacitação dos futuros profissionais brasileiros que atuarão na cadeia do  $H_2$  Verde. Como foco da “**Componente 3 do Projeto**” (**Educação Profissional e Superior para o Hidrogênio Verde**), foram desenvolvidos cursos teóricos e práticos, desde a produção de  $H_2$  até seu uso final.

O objetivo dos cursos foi abordar desde o conhecimento básico fundamental até detalhar temas mais relevantes para contexto brasileiro. O intuito é a formação de um grande grupo capacitado, que será o futuro corpo docente do tema  $H_2$  Verde no Brasil. (Rede  $H_2$  Brasil). O público-alvo era professores (mestres e doutores) e instrutores nas áreas correlatas ao  $H_2$  Verde, tais como engenharia elétrica, civil, eletrotécnica, mecânica, mecatrônica, química, economia, gestão, TI, economia ou direito com experiência e conhecimento em energias renováveis ou afins.

Foram 1.176 participantes que tiveram a oportunidade de se capacitar, divididos em 11 turmas, num total de 120h de carga horária. As etapas EAD (online) abordaram desde a introdução até a aplicabilidade do  $H_2$  Verde no mercado. Já a etapa presencial focou nos cenários regionais para implantação de tecnologias relacionadas ao  $H_2$  Verde, por meio de visitas técnicas orientadas. Também foram ministrados 8 cursos, denominados *masterclasses*, com mais de 495 inscritos, com carga horária de 20h a 30h, no formato EAD (online).

Esse livro é produto dessas capacitações, que reuniu 23 professores doutores, em temas relacionados ao  $H_2$  Verde. Foi uma ação, inovadora e colaborativa, na criação de conteúdos, do Brasil e Alemanha. Assim todo o material didático dos cursos (transcrição de aulas, slides e apostilas) foi compilado, resultando no desenvolvimento de 2 coleções, com total de 10 livros didáticos do projeto  $H_2$  Brasil Power-to-X.

Expressamos nosso reconhecimento aos autores e toda equipe envolvida, pelo trabalho árduo e inédito. Esperamos que os livros possam contribuir e ampliar ações efetivas para o crescimento do  $H_2$  Power-to-X no Brasil.

### Klaus P. Albrechtsen

$H_2$  Brasil Power to X - Programa de Parceria Alemã-Brasileira  
Componente: Formação Profissional e Superior para Hidrogênio Verde

## Sumário

<b>1. Aquecimento global e a problemática do carbono.....</b>	<b>9</b>
1.1. Mudanças climáticas, aquecimento global e GEE.....	9
1.2. Efeitos da mudança climática e do aquecimento global..	18
1.3. Causas do aumento das emissões globais de GEE.....	32
1.4. Tratados Climáticos Globais e Comércio de Emissões.....	38
<b>2. Processos de Transição energética.....</b>	<b>49</b>
<b>3. Hidrogênio: história, produção e aplicação no Brasil.....</b>	<b>77</b>
<b>Considerações Finais.....</b>	<b>99</b>
<b>Referências.....</b>	<b>100</b>

# 1. Aquecimento global e a problemática do carbono

## 1.1. Mudanças climáticas, aquecimento global e GEE

Para entendermos o conceito de Aquecimento Global, precisamos primeiro compreender alguns conceitos básicos relacionados às mudanças climáticas e sua relação com os Gases de Efeito Estufa (GEE).

O clima é diferente do tempo, pois enquanto o "tempo" se refere às condições atmosféricas que ocorrem localmente em curtos períodos (minutos, horas ou dias), o "clima" refere-se à média regional ou global ao longo prazo dos padrões de temperatura, umidade e pluviosidade ao longo das estações, anos ou décadas.

Quando tratamos de clima, são avaliados pelo menos trinta anos para saber se houve alguma mudança climática.

Mudanças no tempo podem ocorrer rapidamente, como uma mudança repentina de temperatura de 5°C em um único dia, enquanto mudanças no clima ocorrem de forma lenta. Por exemplo, uma redução inesperada de 5°C na temperatura de um clima específico nos levaria a condições semelhantes à última era glacial.

Portanto, para compreendermos a relação entre o Aquecimento Global e o clima, precisamos entender como os GEE afetam a temperatura da Terra a longo prazo. O hidrogênio verde, por exemplo, é uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis que emitem GEE e contribuem para o Aquecimento Global.

Ao produzir hidrogênio a partir de fontes renováveis de energia, como a energia solar ou eólica, podemos reduzir as emissões de GEE e ajudar a proteger o clima.

O clima é uma condição meteorológica que é influenciada por diversos fatores, como a altitude, a proximidade com o oceano, a latitude e a topografia. Esses fatores juntos determinam os padrões climáticos em uma determinada região, como locais que têm invernos secos ou verões chuvosos.

Hoje em dia, as mudanças climáticas são um problema global que estamos enfrentando devido ao aquecimento global. As mudanças climáticas têm ocorrido ao longo dos bilhões de anos devido a atividades vulcânicas, impacto de meteoros e outros fatores que liberam grandes quantidades de gases na atmosfera, alterando o clima da Terra.

Nas últimas décadas, temos registrado um aumento significativo da temperatura média da Terra, o que tem impactos devastadores sobre a natureza, o meio ambiente e os seres humanos. Este aumento tem ocorrido mais rapidamente do que em qualquer período da história, principalmente como resultado das atividades humanas. Desde a industrialização, por volta de 1850, foram detectadas as primeiras mudanças climáticas, com um aumento entre 0,5°C e 0,8°C.

É importante ressaltar que a temperatura da Terra, nos últimos 11.500 anos, se manteve relativamente constante, com algumas variações ocasionais de clima mais frio ou mais quente (Figura 1). No entanto, as mudanças climáticas de hoje estão ocorrendo a uma velocidade sem precedentes e estão afetando diretamente as nossas vidas.



Figura 1: História do Clima. Fonte: Nelles, Serrer (2021)

A radiação solar que chega à Terra é em grande parte absorvida pela superfície terrestre, o que a aquece. Parte dessa radiação infravermelho é refletida de volta para o espaço pelas nuvens, pelos GEE, e pela superfície terrestre e outra parte é absorvida pela superfície terrestre e não retorna para o espaço.

Se não houvesse GEE, quando a radiação solar incide nas camadas da atmosfera e na superfície terrestre, a Terra mantém uma temperatura média de  $-19^{\circ}\text{C}$ . Mas com a quantidade elevada de gases de efeito estufa, a radiação incidente é refletida pela superfície terrestre e existe uma segunda reflexão, como um barreira criada pelos GEE. Isso faz com que o calor volte para a Terra, elevando a temperatura média para cerca de  $14^{\circ}\text{C}$ .

Em resumo, o aumento de GEE leva ao aumento da temperatura média do planeta, o que pode ter consequências graves para o clima e para a vida na Terra. Os GEE absorvem e refletem a radiação infravermelha na atmosfera, levando ao aumento da temperatura na superfície da Terra.

A mudança climática é uma alteração gradual e de longo prazo nos padrões de clima da Terra, que afetam os climas locais, regionais e globais. Essas mudanças podem resultar em climas mais quentes, mais úmidos ou mais secos por décadas ou mais.

Os processos naturais também podem contribuir para a mudança climática, incluindo 2 tipos de variabilidade:

- Interna: por exemplo, padrões oceânicos cíclicos como *El Niño*, *La Niña* e a ODP – Oscilação Decadal do Pacífico;
- Externa: por exemplo, atividades vulcânicas, mudanças na produção de energia do Sol, variações na órbita da Terra.

No entanto, os processos naturais foram completamente suplantados pelas atividades humanas.

Desde o início da era industrial, tem havido um aumento não só na temperatura média global do ar, mas também na concentração de dióxido de carbono e outros gases com efeito de estufa na atmosfera terrestre. A atividade humana, em particular a queima de combustíveis fósseis, é a razão desta mudança (Le Quéré, 2015).

### Efeito estufa natural é uma “armadilha de calor atmosférico”:

Os gases de efeito estufa (GEE) refletem a radiação infravermelha para manter o equilíbrio natural de temperatura na Terra. Mas maiores concentrações de GEE aumentam a temperatura do planeta.

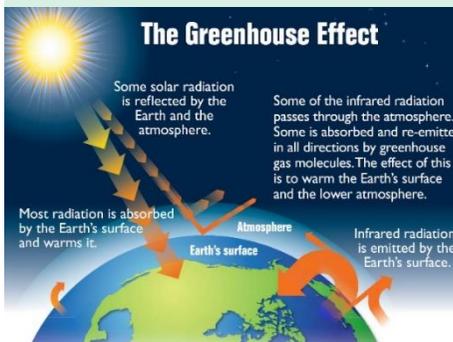


Figura 2: Efeito estufa natural. Fonte: EPA, 2022

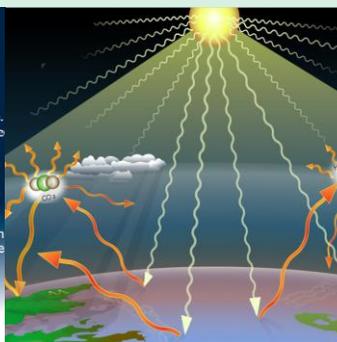


Figura 3: Gases de efeito estufa. Fonte: NASA, 2022

No Protocolo de Kyoto, assinado em 1997 por 84 países e atualmente apoiado por 192 partidas (UNFCCC, 2023), vários países concordaram pela primeira vez que as mudanças climáticas são um problema global. Foi reconhecido que o uso e a queima de combustíveis fósseis aumentam os níveis de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre, o que eleva a temperatura média da superfície terrestre.

O Aquecimento Global é um fenômeno que ocorre desde a Revolução Industrial (entre 1850 e 1900) e que tem aumentado gradualmente a temperatura média global da Terra em cerca de 1°C.

Atualmente, esse número está aumentando em mais de 0,2°C por década, devido às atividades humanas que geram emissões de gases de efeito estufa, como a queima de combustíveis fósseis e a desmatamento. Essas emissões têm um efeito acumulativo na atmosfera terrestre e contribuem para o agravamento do aquecimento global.

A atual tendência de aquecimento é inequivocamente o resultado da aceleração da industrialização das atividades humana, a partir da década de 1950, que tem prosseguido a um ritmo sem precedentes.

Veja o aumento da temperatura desde 1850 aos anos 2000.

### Aquecimento global:

As medições comprovam o aumento da temperatura média global nas últimas décadas, como resultado das atividades humanas

**O mundo está ficando mais quente**

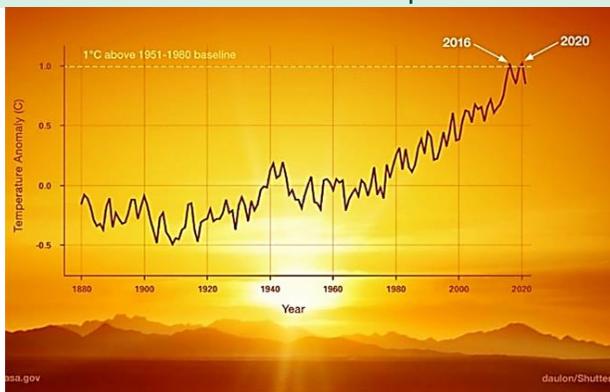
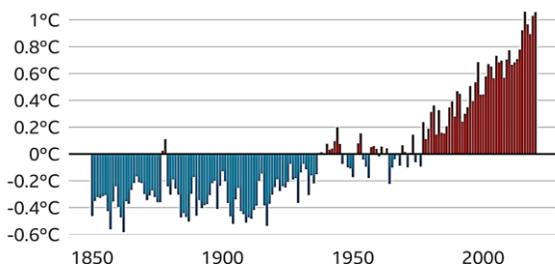


Figura 4: Fonte: NASA, 2022

Annual mean land and ocean temperature above or below average, 1850 to 2020



Note: Average calculated from 1951 to 1980 data

Source: University of California Berkeley



Figura 5: Fonte: University of California Berkeley (BBC)

Dica de vídeo sobre temperatura da superfície do mar, da ESA

(European Space Agency): <https://www.youtube.com/watch?v=kdvK6wGWI9s>

Acima, são demonstrados dados medidos e computados da temperatura média anual da terra e do oceano acima ou abaixo da média.

Já os modelos climáticos computadorizados permitem reconstruir o clima do passado e simular o da Terra sob diferentes condições (Figura 6). Se nenhuma ação estiver sendo tomada para reduzir os GEE emitidos

na atmosfera, a temperatura pode sofrer um aumento de até 6°C em alguns lugares no mundo.

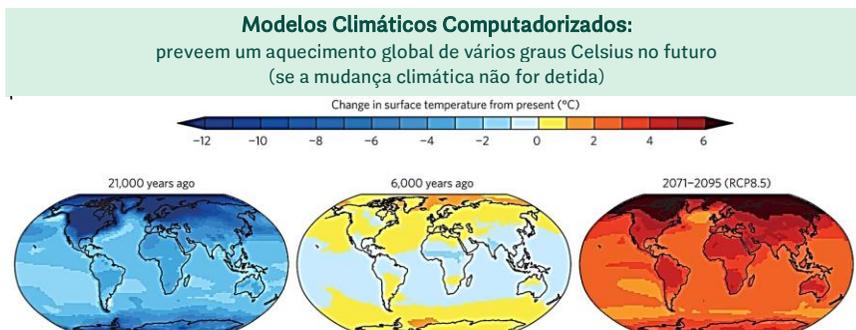


Figura 6: Previsão de mudança de temperatura a partir do presente.

Fonte: Climate Knowledge Portal, 2022. <https://www.worldbank.org/>

“Os GEE aquecem a Terra absorvendo energia e diminuindo a velocidade com que a energia escapa para o espaço; eles agem como um cobertor isolando a Terra. Diferentes GEEs podem ter efeitos diferentes no aquecimento da Terra. Duas maneiras principais pelas quais esses gases diferem entre si são sua capacidade de absorver energia (sua “eficiência radiativa”) e quanto tempo eles permanecem na atmosfera (também conhecido como “tempo de vida”. EPA, 2023

Fonte: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

“Os Modelos Climáticos são uma representação numérica do sistema climático com base nas propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes (atmosfera, oceano, gelo, superfície terrestre) e suas interações. Os modelos climáticos são aplicados como uma ferramenta de análise e pesquisa para estudar e simular o clima (IPCC, 2018).”

Segundo o INPE, os resultados apresentados a partir dos cálculos dos modelos climáticos são geralmente chamados de projeções climáticas

(ou cenários climáticos). Vale ressaltar, no entanto, que projeções climáticas não são previsões meteorológicas<sup>1</sup>.

Diferentemente dos modelos de previsão do tempo (previsão para alguns dias e semanas) ou dos modelos de previsão climática sazonal (previsão para alguns meses), os modelos de projeção climática simulam o clima futuro para uma escala temporal de anos a décadas, com base em suposições sobre este futuro.

### **O que está causando a mudança climática e o aquecimento global?**

Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os clorofluorocarbonos (CFCs), o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e outros.

Cada um desses gases tem um potencial de aquecimento global, conhecido como GWP (*Global Warming Potential* ou Fator de Aquecimento Global), que mede a eficácia relativa do gás em reter o calor da Terra em um determinado período de tempo.

Nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), vários métodos de cálculo de GWP foram apresentados com base em como contabilizar a influência do aquecimento futuro no ciclo do carbono.

É importante considerar o GWP, pois é um fator que compara um gás, com a mesma quantidade de dióxido de carbono, que é a medida base, considerada como 1. O GWP é calculado sobre um intervalo de tempo específico e este valor deve ser declarado para a comparação internacional (indústria, empresas, governos etc.)

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) foi desenvolvido para permitir comparações dos impactos de diferentes gases no aquecimento global. Especificamente, é uma medida de quanta energia

---

<sup>1</sup> <http://pclima.inpe.br/>

as emissões de 1 tonelada de gás irão absorver durante um determinado período de tempo, em relação às emissões de 1 tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Em termos simples, se um gás for atribuído com GWP de 10, significa que esse gás tem potencial para aquecer o clima 10 vezes mais do que o mesmo valor de CO<sub>2</sub>. A maioria dos HCFC e HFC tem GWP muito superior ao GWP do CO<sub>2</sub>. Por exemplo, o HFC-134a tem um GWP de 1430. Isto significa que a emissão de 1 tonelada de HFC-134a dará a mesma contribuição para o aquecimento global que a emissão de 1430 toneladas de CO<sub>2</sub>.

#### Exemplo de Cálculo do GWP de uma mistura: muito utilizada, R404a:

R404a consiste em: 52% HFC-143a + 44% HFC-125 + 4% HFC-134a

GWPs: HFC-143a: 4470 HFC-125: 3500 HFC-134a: 1430

GWP da mistura = 52% \* 4470 + 44% \* 3500 + 4% \* 1430

**GWP= 3922**

Fonte: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26866/7878FS03GWPCO\\_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26866/7878FS03GWPCO_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ver calculadora GWP-ODP: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/32223>

Ver GHG PROTOCOL:

[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf)

O aumento desses GEE na atmosfera contribui para o aumento da temperatura média global do planeta.

Como, por exemplo, os efeitos de uma possível trajetória de aumento, ou redução, nas concentrações dos GEE na atmosfera (cenários de emissões de GEE).

Assim, como os efeitos diretos no aumento de temperatura, cada gás tem duração permanência diferente na atmosfera, sendo o CO<sub>2</sub> usado como referência para comparação do GWP:

- Vapor de água: a concentração depende da temperatura e de outras condições meteorológicas e não diretamente das atividades humanas;
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [GWP = 1]: liberado através de processos naturais (como erupções vulcânicas) e através de atividades

humanas, como processos industriais, queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Contribui com aproximadamente 76% das emissões globais de GEE;

- **O metano (CH<sub>4</sub>) [GWP=28]**: provém de decomposição de material vegetal em áreas úmidas, aterros sanitários, cultivo de arroz, animais de criação e vazamentos de gás. É responsável por 16% das emissões de GEE;
- **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) [GWP=265]** da produção e uso de fertilizantes, queima de combustíveis fósseis e vegetação. É responsável por 6% das emissões de GEE;
- **Clorofluorcarbonetos (vários CFC\*) [GWP até 12.200]**: totalmente de origem industrial, utilizados como refrigerantes, solventes (uma substância que dissolve outras) e propulsores de lata de spray. Jutos com outros gases, é responsável por 2% das emissões de GEE;
- **Haxloreto de enxofre \* (SF<sub>6</sub>) [GWP=23.500]**: isolante usado em aparelhos elétricos (transformadores)

*\*O uso de CFC e SF<sub>6</sub> foram proibidos pelo Protocolo de Kyoto*

As mudanças climáticas estão afetando as condições de vida no planeta.

Para lidar com isso, é necessário adotar novas medidas que permitam a adaptação às mudanças já ocorridas e a prevenção de novas mudanças. Isso pode envolver o cultivo de culturas mais resistentes, bem como a criação de infraestrutura para lidar com ondas de calor, secas e tempestades mais frequentes.

Apesar do CO<sub>2</sub> ser o principal GEE (com emissões que totalizam o dobro do metano), considerando as medidas para reduções das emissões, é mais fácil adotar ações relacionadas a outros gases.

Outra medida importante é a redução das emissões de gases de efeito estufa, que são a principal causa do aumento da temperatura do planeta.

Por isso, é fundamental que sejam priorizadas medidas como utilização de energias renováveis, em substituição aos combustíveis fósseis e a descarbonização da indústria.

**Emissões globais antropogênicas de gases de efeito estufa:**  
o dióxido de carbono contribui com 76% das emissões globais de GHG.

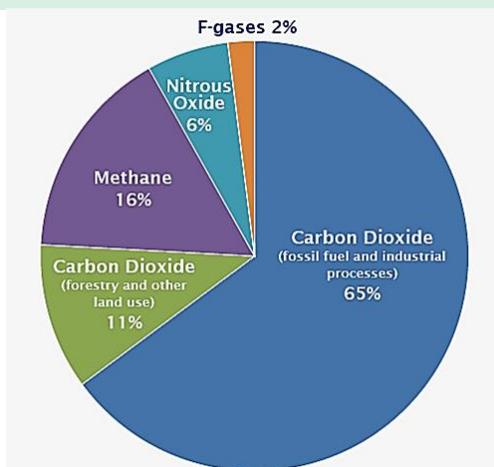


Figura 7: Emissões Globais de GEE.  
Fonte: Notas de Aulas, 2023.

Somente com essas medidas será possível estabilizar o aumento de temperatura do planeta e garantir um futuro mais sustentável para todos.

## 1.2. Efeitos da mudança climática e do aquecimento global

As Mudanças Climáticas vão muito além do aumento de temperatura.

Elas causam grandes riscos para a vida no planeta, incluindo os seres humanos. Os GEE emitidos em um local se espalham por toda a atmosfera, causando efeitos como derretimento de geleiras, secas, tempestades e alteração do habitat de plantas e animais.

Nas regiões alpinas da Europa, apresentadas nas imagens abaixo, as geleiras estão desaparecendo e o limite de altitude para a queda de neve está subindo, chegando a até 5.000 metros no verão, e quase não há neve para esqui no inverno.

Os efeitos incluem deslizamentos de montanha devido ao derretimento do gelo, danos à paisagem, perda de produção de energia hidrelétrica e queda do turismo.

### Efeitos da mudança climática:

Redução das geleiras e a neve desaparecendo das montanhas



Figura 8: Esquiando sem neve (Spiegel, 2022)



Figura 9: Ações extremas: o uso de cobertores para salvar as geleiras (Spiegel, 2022)

Por exemplo, as temperaturas na Europa aumentaram mais que o dobro da média global nos últimos 30 anos e são as mais altas de qualquer continente do mundo, segundo relatório da OMM (Organização Meteorológica Mundial).<sup>2</sup>

### Mudanças Climáticas na Europa: Temperaturas de 40°C foram previstas pela primeira vez

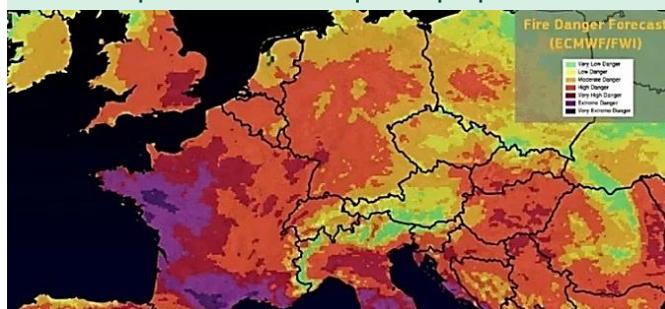


Figura 10: Temperaturas de 40°C. Fonte: UK Met Office, em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1804912>

<sup>2</sup> Fonte: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1804912>

À medida que a tendência de aquecimento continua na Europa, destacamos que o calor excepcional, incêndios florestais, inundações e outros impactos das mudanças climáticas afetarão a sociedade, as economias e os ecossistemas, avalia a agência.

### Os Alpes Suíços estão desaparecendo:

Os limite da altura da queda de neve está subindo (no verão até 5.000 metros) e quase não há neve para esqui no inverno.

**Geleira do Ródano em 1900**

**Geleira do Ródano atualmente**

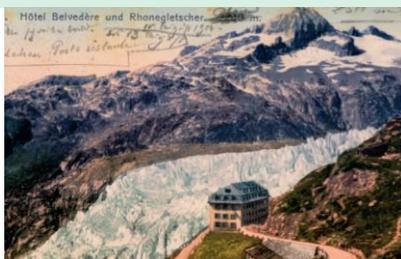


Figura 11: Geleira do Ródano em 1900. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Figura 12: Geleira do Ródano atualmente. Fonte: Notas de aulas, 2023.

O *Ice Albedo Feedback* é uma estimativa da refletividade de uma superfície. O sol produz radiação solar em comprimentos de onda que podem ser refletidos em muitas das superfícies da Terra, algumas mais do que outras.

O albedo da Terra é estimado como a razão entre a radiação solar emitida (250-2500 nm.) e a radiação solar incidente. Uma superfície perfeitamente reflexiva (toda a luz recebida é refletida de volta) teria um albedo de 100% de reflexão ou, como proporção, 1,00. Uma superfície que não tem refletividade teria um albedo de zero por cento de reflexão e uma razão de zero.

Na Terra, o mar aberto, como os oceanos, tem um albedo de 0,05, enquanto a neve e gelo tem um albedo de 0,90. O gelo é altamente reflexivo, então parte da energia solar é refletida de volta para o espaço.

Nas regiões polares, isso significa que aproximadamente 80% dos raios solares são refletidos de volta para a atmosfera. Enquanto apenas 20% são absorvidos pela superfície da Terra, provocando o derretimento natural da neve e do gelo.

### Ice Albedo Feedback

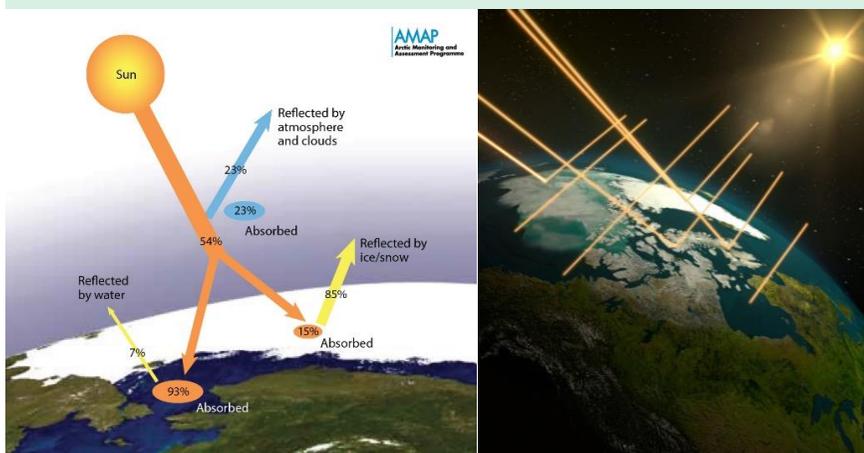


Figura 13: SEA ICE & ALBEDO FEEDBACK

. Fonte: <https://beneaththepolarsun.org/sea-ice-albedo-feedback/>

À medida que a Terra aquece mais, a quantidade de neve e cobertura de gelo diminui, mais radiação solar é absorvida pelo solo, gerando, por isso, o aquecimento da superfície. Como a neve e o gelo são muito reflexivos, eles mantêm as regiões polares e de alta altitude mais frias.

Portanto, o *Ice Albedo Feedback* tem um papel significativo nas mudanças climáticas. O derretimento do gelo polar também tem um impacto considerável no nível do mar, que aumentou 8 cm desde os anos 90.



Figura 14: Permafrost. Fonte: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/256962-o-permafrost-o-que-cientistas-encontrar-nele.htm>

O *permafrost* é um solo, permanentemente congelado, composto por gelo, rocha e matéria orgânica que se encontra abaixo de 0°C há pelo menos dois anos consecutivos na região Ártica e Antártida. Está situado em áreas frias, próximas aos polos, como Canadá, Alasca ou Sibéria, entre outras. Atua como sumidouro de carbono durante milhares de anos.

Se o *permafrost* permanecer congelado, o gelo e a neve no solo serão mantidos e o ar permanecerá frio. Essa manutenção do gelo e da neve mantém o albedo da região razoavelmente constante, refletindo a maior parte dos raios solares de volta para a atmosfera, e o gelo e a neve permanecem por períodos mais longos.

O seu derretimento vem ocorrendo de forma acelerada devido às Mudanças Climáticas. O resultado do degelo é decomposição de matéria orgânica, que pode liberar grandes quantidades de gases do efeito estufa, como o metano e o dióxido de carbono.

O *permafrost* é um dos responsáveis por manter a temperatura baixa no planeta e o seu derretimento tem causado grandes impactos, como: mudanças locais no solo, danos à edificações e infraestruturas, além da liberação de enormes quantidades (até 1.000 GigaT) de gases de efeito estufa, acelerando ainda mais as Mudanças Climáticas.

Além de contribuir para o aquecimento global, o derretimento do *permafrost* também descongela bactérias patogênicas e contagiosas, podendo causar doenças e epidemias, ou seja, um grande impacto financeiro e na saúde das pessoas.

Segundo a *European Space Agency* (ESA), nos últimos 50 anos, os oceanos absorveram mais de 90% do calor extra na atmosfera causado pelos gases de efeito estufa da atividade humana. À medida que a água do mar aquece, ela se expande – um fenômeno conhecido como expansão térmica. Essa expansão é uma das outras maiores razões para o aumento dos mares.

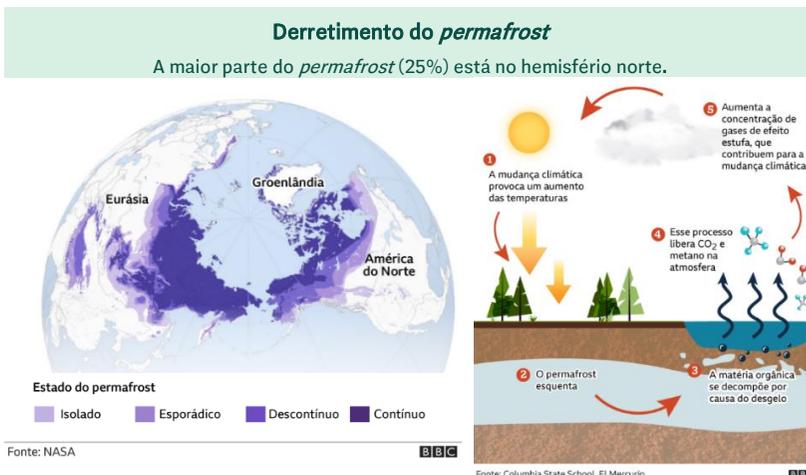


Figura 15: Derretimento do Permafrost.

Fonte: BBC Brasil, em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-59179808>

O nível do mar é medido principalmente usando medidores de maré e, desde 1993, altímetros de satélite atuando como medidores de maré virtuais no espaço.



Figura 16: Efeito das alterações climáticas com impacto direto na elevação do nível do mar. Fonte: ESA, em: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why\\_is\\_sea\\_level\\_rising](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why_is_sea_level_rising)

As estações de medição de maré em todo o mundo revelam o que está acontecendo localmente – a altura da água é medida ao longo da costa em relação a um ponto específico na terra.

As medições por satélite fornecem as variações de altura sobre a vasta superfície oceânica. Juntas, essas ferramentas nos dizem como os níveis do oceano estão mudando ao longo do tempo.

Com o aquecimento global, temos observado a perda de enormes áreas de terra e elevação do nível do mar. Isso tem causado grandes prejuízos na infraestrutura, nos edifícios, nas florestas, na agricultura, além de grandes investimentos financeiros de mitigação (barragens).

### Descongelamento do permafrost

Derretimento permafrost na Sibéria



Figura 17: derretimento permafrost na Sibéria.  
Fonte: Notas de aulas, . 023.

Regiões montanhosas e árticas



Figura 18: regiões montanhosas e árticas  
Fonte: Notas de aulas, 2023.

Como resultado da elevação do nível dos mares, muitos países têm perdido suas áreas de terra, como o arquipélago das Ilhas Maldivas, localizado na Ásia.

### Mudança climática x Elevação do nível do mar

Fusão de geleiras na Groenlândia



Figura 19: Gelo polar derretendo. Fonte:  
em: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why\\_is\\_sea\\_level\\_rising](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why_is_sea_level_rising)

Diminuição de áreas (Ilhas Maldivas)



Figura 20: Perda de áreas de terra nas Ilhas Maldivas.  
Fonte: ESA, em: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why\\_is\\_sea\\_level\\_rising](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why_is_sea_level_rising)

Mais de 80% das 1.200 ilhas do arquipélago estão à menos de 1 metro acima do nível do mar, o que as torna extremamente vulneráveis às mudanças climáticas e ao aumento do nível do mar. As Ilhas Maldivas têm enfrentado grandes desafios para preservar sua existência.

O mesmo ocorre em Veneza, na Itália, que enfrenta inundações frequentes e tem investido em estratégias preventivas, como novas barragens, pontes e passarelas, para proteger seu patrimônio histórico e os habitantes locais.

Por exemplo, o projeto MOSE promete proteger a cidade das inundações que sempre acontecem entre o fim de outubro e o início do inverno europeu.

### Projeto MOSE: uma solução para salvar Veneza das inundações

O Projeto MOSE consiste em uma enorme barragem composta de comportas metálicas para proteção contra inundações. São dezenas de barreiras móveis com até trinta metros de comprimento e 300 toneladas cada, estrategicamente posicionadas nas três aberturas que ligam a Lagoa de Veneza ao Mar Adriático.



Figura 21: Projeto MOSE. Fonte: <https://engenharia360.com/projeto-mose-engenharia-civil-de-veneza/>

As mudanças climáticas também têm impactado países como Alemanha e Reino Unido, que têm registrado temperaturas acima dos 40°C com fortes ondas de calor, algo inimaginável há alguns anos.

## Calor mais extremo na Europa: menos inverno e mais calor

Ondas mais quentes e frequentes.

Termômetro em Paris, na França.



Figura 22: Calor em 2022 na Alemanha e Reino Unido (>40°C). Fonte: Notas de aulas, 2023.



Figura 23: Termômetro de farmácia em Paris, marca 39°C. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Rios que sempre correram, com grande importância econômica, social e ambiental (inclusive no transporte de navios e geração de energia), agora ficam secos, pela primeira vez.

É o caso do Rio Reno. Ele possui 1.233 km de comprimento e atravessa a Europa de sul a norte, desaguando no mar do Norte. Atravessa ou acompanha seis países: a Suíça, a Áustria, o Liechtenstein, a Alemanha, a França e os Países Baixos.

Pela primeira vez, o Rio Reno secou no verão de 2022, causando enormes prejuízos diretos, e acendendo um alerta severo em relação as mudanças climáticas. A onda de calor também foi muito intensa nesse verão.

Vale recordar que, em termos energéticos, a seca de um rio provoca aquecimento, já uma superfície de água (albedo maior), é substituída por areia/terra.

Isso tem aumentado a demanda de energia para ar-condicionado e medidas de mitigação nas cidades, além de provocar mudanças na fauna e flora, diminuição do volume dos rios e reservas de água, e até mesmo mortes por calor.

Com o aumento da temperatura do planeta, ocorre um aumento significativo de incêndios florestais, principalmente no hemisfério norte.

### Seca no Rio Reno

O Rio Reno, secou em Düsseldorf/Alemanha, no verão de 2022.



Figura 24: O Rio Reno seco na Alemanha, no verão de 2022. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Escassez de água devido à onda de calor na Holanda: bicicleta no leito do rio Reno, 2022.



Figura 25: Bicicleta no leito do rio Reno, 2022. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Nos últimos 10 anos, esses eventos têm aumentado dramaticamente em países como Alemanha e outros países na EUA.

Os incêndios florestais são prejudiciais não só para a biodiversidade, mas também para a saúde humana, devido à emissão de gases tóxicos e fuligem na atmosfera. Tais eventos afetam diretamente a fauna e a flora dessas áreas, prejudicando ecossistemas inteiros.

### Calor mais extremo na Europa: menos inverno e mais calor

Ondas mais quentes e frequentes



Figura 19: Fogo na Saxônia, Alemanha. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Termômetro em Paris, na França.



Figura 20: Incêndio no Parque Yosemite, Califórnia. Fonte: Notas de aulas, 2023.

As mudanças climáticas, como o aumento da temperatura e a diminuição da umidade do solo, favorecem o surgimento e a propagação desses incêndios, que podem se tornar cada vez mais frequentes e intensos se não forem adotadas medidas de mitigação adequadas.

À medida que as temperaturas aumentam, o planeta sofre diversas consequências, incluindo maior demanda energética para ar condicionado, redução da jornada de trabalho devido ao calor extremo, aumento de doenças e até mortes. Além disso, são registradas alterações nas precipitações, nos ventos e no volume de água dos rios em diversas regiões do mundo.

### Efeito da mudança climática: falta de chuva e secas

Lago desaparecido na Tanzânia, África



Figura 21: Lago desaparecido na Tanzânia, África. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Seca na Austrália



Figura 22: Seca na Austrália. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Por exemplo, em algumas áreas são observados momentos de seca, enquanto em outras ocorrem inundações, furacões, erosões em terras férteis, perda de vidas humanas e biodiversidade, propagação de doenças e enormes danos à infraestrutura e edifícios, tornando algumas áreas inabitáveis.

### Efeito da mudança climática: falta de chuva e secas

Lago desaparecido na Tanzânia, África



Figura 23: Inundações de 2021 em Ahrtal, Alemanha. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Seca na Austrália



Figura 24: Inundações recentes na África do Sul. Fonte: Notas de aulas, 2023.

A crise climática tem provocado a escassez de água em diversas regiões do mundo, causando problemas na produção agrícola e redução na geração de energia hidroelétrica. A diminuição das chuvas tem resultado

em uma redução da produção de safras agrícolas e situações mais extremas, como seca prolongada, como tem sido observado em várias regiões do mundo.

A crise hídrica também tem impactado a geração de energia elétrica, uma vez que as hidroelétricas dependem da disponibilidade de água para a produção de energia.



Figura 23: Seca na África Oriental.  
Fonte: Notas de aulas, 2023.

Figura 24: Seca na Austrália.  
Fonte: Notas de aulas, 2023.

Ao todo, mais de 30 países já enfrentam escassez crônica de água. Infelizmente, a previsão é de que o problema passe a afetar 2 vezes mais países e 3,5 bilhões de pessoas. No séc. XX, o consumo de água aumentou em seis vezes, o dobro do crescimento da população. Logo, não há água disponível para todas as pessoas, indústria, agropecuária, geração de energia etc.

A agropecuária é responsável por 69% do uso água no mundo. As residências por 12% e a indústria (incluindo a geração de energia), por 19%. Com uso tão intenso deste recurso, os impactos da crise hídrica já são percebidos em vários lugares.

#### 4 possíveis impactos da crise hídrica:

- **Desertificação**: os solos seriam desertificados e impróprios para o plantio de alimentos;
- **Guerras hídricas**: conflitos entre nações pelo controle da água potável no mundo;

- **Crises:** falta de abastecimento em algumas regiões;
- **Degelo:** Estima-se que 68,7% da água potável disponível está em calotas polares ou geleiras. O derretimento das geleiras já originou rios na Índia e no Nepal. Por outro lado, as geleiras são finitas e podem evaporar daqui a alguns anos. Do mesmo modo, qualquer alteração neste habitat prejudica todo um ecossistema.

Enquanto alguns países sofrem com a escassez de água, outras regiões sofrem com extremos climáticos, como tempestades e tornados.

### Efeito da mudança climática: tornados e furacões

Tornado em Paderborn, Alemanha 2022



Figura 23: Tornado em Paderborn, Alemanha 2022. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Furacão Agatha no México, 2022



Figura 24: Furacão Agatha no México, 2022. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Além disso, o aumento da temperatura global tem gerado condições favoráveis para a proliferação de insetos e vetores de doenças tropicais. Países europeus e outras regiões têm enfrentado situações emergenciais de abastecimento de água, elevando seu custo e provocando prejuízos em diferentes setores da economia.

Os custos das mudanças climáticas são um tema bastante discutido em pesquisas e são estimados pelos planos político-econômicos. Apesar de serem difíceis de precificar, é preciso deixar claro que eles existem e têm amplo efeito sobre a economia em todos os setores.

### As mudanças climáticas também têm causado impactos sociais e econômicos:

- O primeiro custo está ligado aos danos diretos, por exemplo, prejuízos em imóveis, infraestrutura, resultados de eventos climáticos extremos, como por exemplo, tornados e furacões.
- O segundo custo refere-se as adaptações necessárias ao novo clima, como a construção de diques para proteção contra enchentes, por exemplo.
- O terceiro custo está relacionado às medidas preventivas, ou seja, estratégias para limitar o aquecimento global futuro.

Um exemplo é a mudança de combustíveis fósseis para energias renováveis. Essa transição é necessária para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e reduzir os custos associados, como as perdas na produção agrícola e os gastos com saúde pública.

As atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e desmatamento, têm contribuído significativamente para as mudanças climáticas e o aquecimento global. Essas mudanças têm custos que afetam a economia mundial. Estima-se que nos últimos anos, somente para reparar danos causados por desastres climáticos, foram gastos mais de US\$ 650 bilhões.

Além disso, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente prevê que o custo global de adaptação aos impactos climáticos aumente para US\$ 140-300 bilhões por ano até 2030 e para US\$ 280-500 bilhões por ano até 2050.

O combate às mudanças climáticas requer medidas de proteção que possuem custos associados, e os custos gerados pelas mudanças climáticas e pelos danos causados pela inação também devem ser levados em conta.

Portanto, é essencial considerar todos os aspectos para que ações efetivas sejam tomadas em relação ao problema ambiental global.

### Efeito da mudança climática: impacto social e econômico

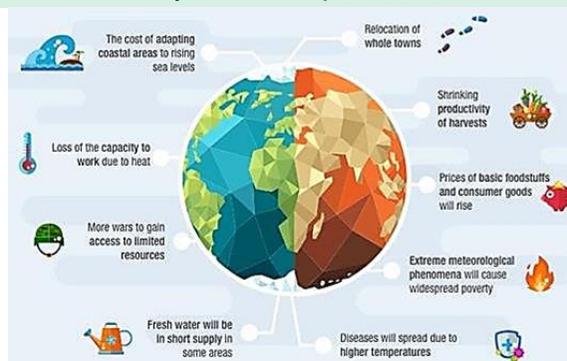


Figura 26: Efeito da mudança climática e impacto social e econômico.

Fonte: Iberdrola, 2019

Veja a seguir, algumas informações sobre os custos atuais e custo de possíveis cenários para atingir o objetivo do Acordo de Paris:

- 1). Reduzir emissões de GEE ou
- 2). Manter a tendência de elevadas as emissões de GEE.

### Os danos financeiros pelas mudanças climáticas já são enormes



Figura 27: Danos financeiros  
Fonte: <https://www.wartsila.com/>

### Riscos econômicos, técnicos e sociais aumentarão

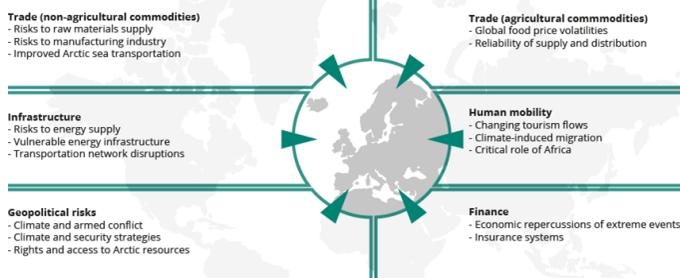


Figura 28: Riscos econômicos, técnicos e sociais aumentarão. Fonte: EEA, 2017

### Pesquisa a economistas especializados em clima realizada em 2020-2021:

Ações para atingir o objetivo do Acordo de Paris: reduzir emissões de GEE ou manter a tendência de elevadas as emissões de GEE.

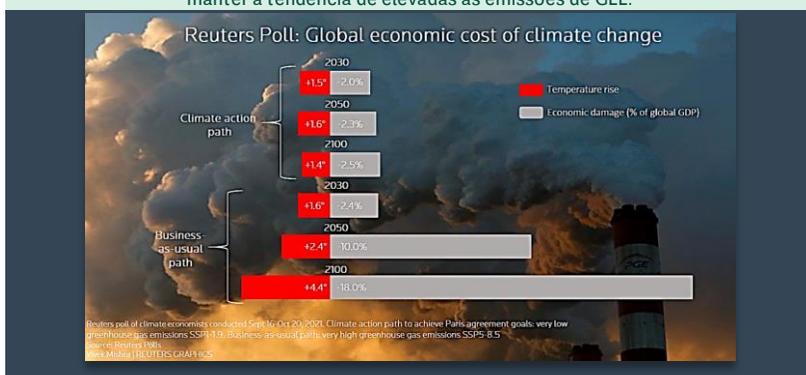


Figura 29: Pesquisa sobre economia em 2020-2021. Fonte: Reuter Polls, Vivek Mishra

Causas do aumento das emissões globais de GEE

As atividades humanas têm uma grande contribuição nas mudanças climáticas e aquecimento global.

O setor de energia é o maior responsável por quase 75% das emissões globais de gases de efeito estufa, seguido pela agricultura, indústria e resíduos. As indústrias desse setor, como a química e a produção de cimento, também possuem processos com altas emissões de CO<sub>2</sub>. Já na agricultura, os processos agrícolas, as queimadas e o desmatamento são os principais causadores de emissões de gases de efeito estufa. A geração de resíduos também contribui para as emissões de CH<sub>4</sub> (metano) em aterros sanitários e na decomposição de águas residuais orgânicas.

Mais especificamente, dentro do setor de energia, a indústria de energia é a maior responsável pela:

- Geração e Consumo de eletricidade;
- Geração de calor nos processos de produção;
- Resfriamento dos processos de produção, produção de aço, químicos e outros.

### Emissões globais de GEE por setor (2016)

O setor de energia é responsável por quase 75% das emissões, seguido pela agricultura, indústria e resíduos.

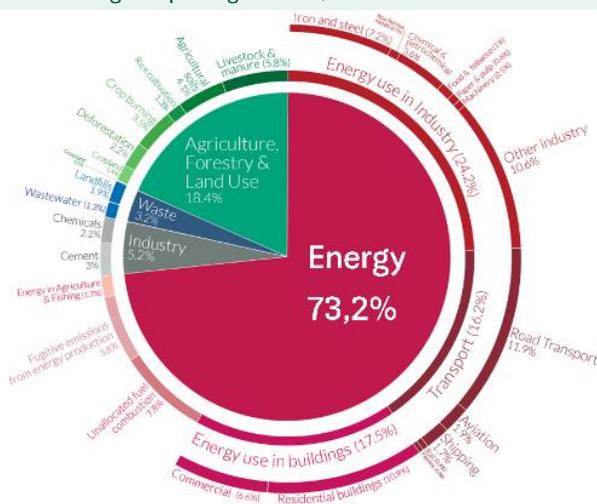


Figura 30: Emissões por setor. Fonte: Our World in Data, 2016

### Detalhes das emissões de GEE do Setor de Energia

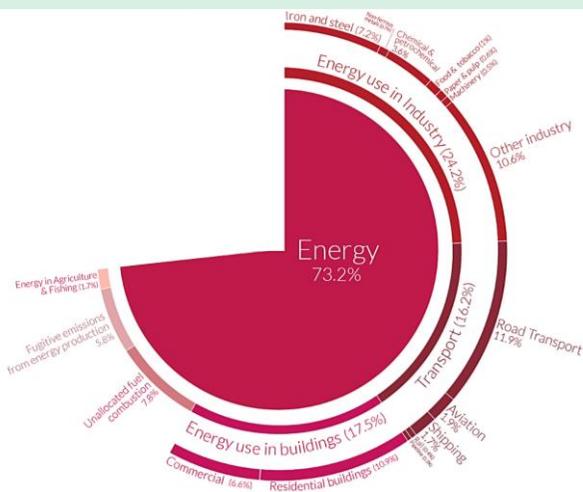


Figura 31: Detalhes do Setor de Energia.  
Fonte: Our World in Data, 2016

Os transportes, especialmente os que utilizam combustíveis fósseis, como carros, caminhões e navios, vêm em segundo lugar. Em terceiro lugar, vem os edifícios, residenciais e comerciais, que consomem eletricidade, especialmente para aquecimento e resfriamento.

As emissões de gases de efeito estufa, especialmente de CO<sub>2</sub>, têm aumentado constantemente. Enquanto os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) estagnaram, os países em desenvolvimento tiveram um grande crescimento econômico, gerando um aumento na contribuição das emissões globais.

Como podemos ver no gráfico a seguir, houve um aumento na emissão de gases de efeito estufa a nível mundial nos últimos anos. As emissões de gases de efeito estufa causadas pelas atividades humanas têm um impacto significativo no clima do planeta e precisam ser reduzidas.

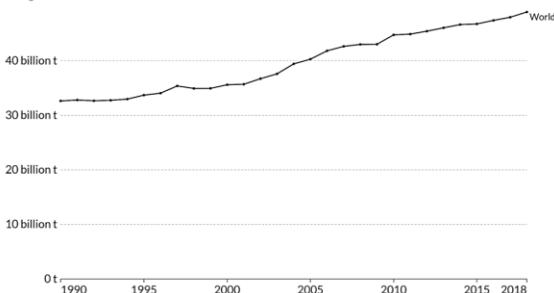
Até o ano 2000, os EUA eram os maiores emissores de CO<sub>2</sub>, mas devido ao crescimento econômico, a China teve um forte aumento e passou a se tornar o maior emissor de CO<sub>2</sub>. A Europa vem desempenhando papel menor em comparação com a China e os EUA, em função de incentivos e medidas de redução.

## As emissões globais de GEE estão aumentando constantemente

### Total greenhouse gas emissions

Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO<sub>2</sub>e). This means non-CO<sub>2</sub> gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale. Emissions from land use change - which can be positive or negative - are taken into account.

Our World in Data



Source: CAIT Climate Data Explorer via Climate Watch  
OurWorldinData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY  
Note: Greenhouse gases are weighted by their global warming potential value (GWP100). GWP100 measures the relative warming impact of one molecule of a greenhouse gas, relative to carbon dioxide, over 100 years.

Figura 32: Elevação das emissões globais de GEE.

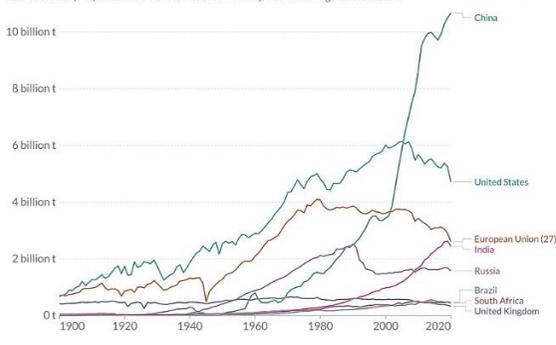
Fonte: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>

## Detalhes das emissões de GEE do Setor de Energia

### Annual CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from fossil fuels and industry. Land use change is not included.

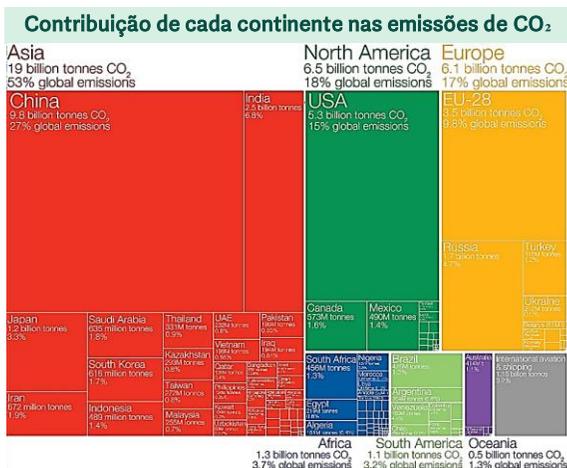
Our World in Data



Source: Global Carbon Project  
OurWorldinData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figura 33: Emissões globais de CO<sub>2</sub>, onde a China ultrapassou os EUA. Fonte: Our World in Data.

No entanto, é importante anotar que a China é um país extremamente populoso, o que significa que a produção de CO<sub>2</sub> por pessoa não é tão alta quando comparada a outros países.



Além disso, é importante destacar que a China é responsável pela produção de produtos que são consumidos em todo o mundo, o que aumenta a sua emissão de CO<sub>2</sub>, mas não para outros países.

Figura 34: Emissões globais de CO<sub>2</sub>, onde a China ultrapassou os EUA. Fonte: Our World in Data, 2016

Dados estatísticos mostram que, em 2016, a emissão global de CO<sub>2</sub> foi de cerca de 36 bilhões de toneladas, sendo a Ásia a região que mais contribuiu com 53%, seguida pelos Estados Unidos com 15% e pela União Europeia (UE) com 10%. Já a África e a América do Sul têm um papel menor nessa emissão.

**Em 2016, as emissões globais de CO<sub>2</sub> foram de cerca de 36 bilhões de toneladas:**

- A Ásia representou 53%, com a participação da China em 27%;
- EUA contribuíram com 15% como 2º;
- UE28 contribuiu 10%;
- África (3,7%) e América do Sul (3,2%) desempenham um papel menor.

Analisando a emissão de CO<sub>2</sub> per capita de cada país, ou seja, a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida por pessoa, podemos notar uma diferença significativa em relação aos países que emitem mais que outros.

Austrália, Estados Unidos e Canadá são os maiores emissores. Para ilustrar essa diferença, podemos observar na imagem abaixo comparativo das emissões de CO<sub>2</sub> de cada país e sua relação per capita no ano de 2014.

## Comparação das emissões totais de CO<sub>2</sub> e as emissões per capita de CO<sub>2</sub> em 2008

Ranking de total de emissões de CO<sub>2</sub> em 2008.

Ranking de emissões de CO<sub>2</sub> por cidadão.

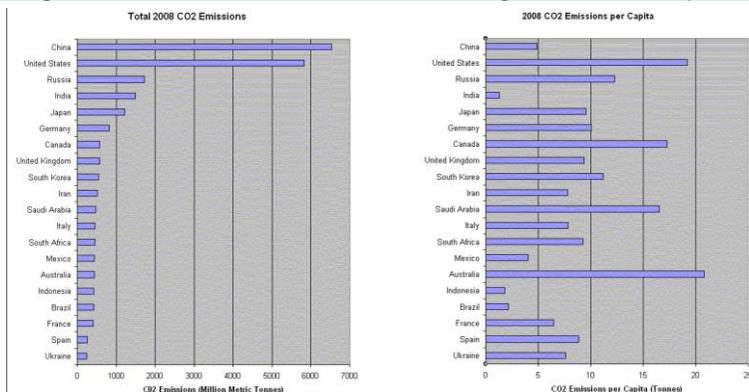


Figura 35: Emissões globais de CO<sub>2</sub>, onde a China ultrapassou os EUA.

Fonte: Our World in Data, 2016

**Emissões totais de CO<sub>2</sub> e emissões per capita de CO<sub>2</sub> mostram uma pegada de CO<sub>2</sub> totalmente diferente dos países:**  
**Emissões totais de CO<sub>2</sub> por país**      **Total de emissões de CO<sub>2</sub> per capita**  
**... de qualquer forma, "o tamanho global do sapato" (pegada) já é grande.**

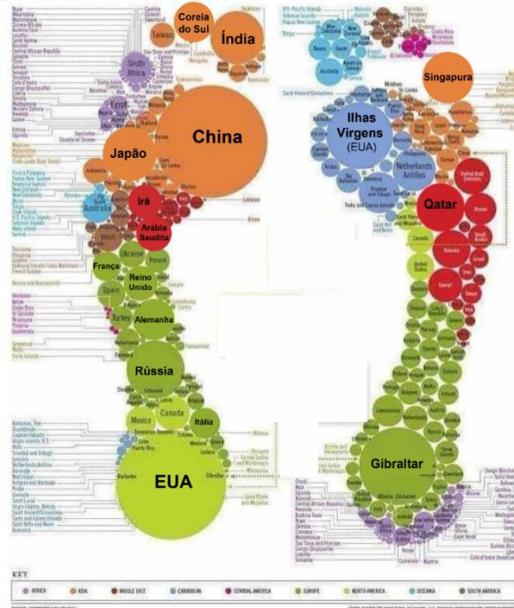


Figura 36: Pegada de carbono do Mundo (2014). Fontes: Notas de aulas, 2023.

Esses dados nos mostram que o "tamanho da pegada pé global", ou seja, o impacto ambiental gerado por cada país, já era muito grande naquele ano.

### 1.3. Tratados Climáticos Globais e Comércio de Emissões

No contexto da proteção do clima, é essencial que os países trabalhem juntos em uma ação global para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Como todos os países do mundo podem cooperar sobre a existência das mudanças climáticas e a necessidade de ação conjunta para a proteção do clima?

Um marco importante nessa questão foi o Protocolo de Quioto, o primeiro acordo global a reconhecer a existência das mudanças climáticas causadas pelo homem, estabelecendo metas para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa.

O Protocolo de Quioto foi adotado em 1997, na cidade de Quioto, Japão, e entrou em vigor em 2005, com a participação de 192 países. Seu principal objetivo era limitar o aquecimento global a 2°C, por meio da redução das emissões antropogênicas de GEE, como o CO<sub>2</sub>, por exemplo.

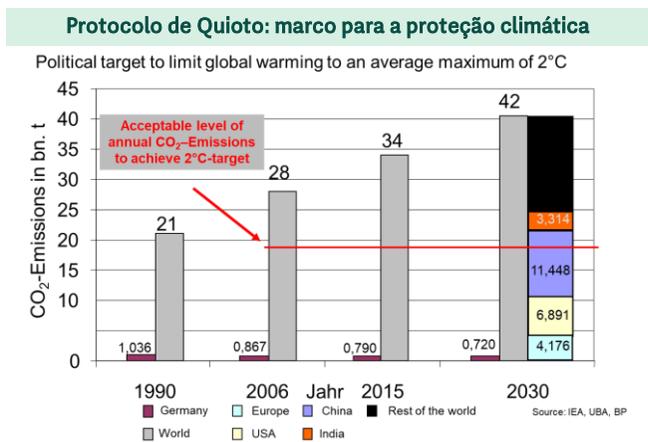


Figura 37: Protocolo de Quioto. Fonte: Notas de aulas, 2023.

O Protocolo de Quioto foi um acordo estabelecido pelas nações industrializadas com o objetivo de reduzir as emissões de seis gases de

efeito estufa (GEE) em 5% entre 1990 e 2012. Os EUA não ratificaram o acordo, e a Austrália e o Canadá o cancelaram. Os GEEs incluídos no Protocolo de Quioto são CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC e SF<sub>6</sub>.

### Objetivos do Protocolo de Quioto para a redução de emissões de GEE

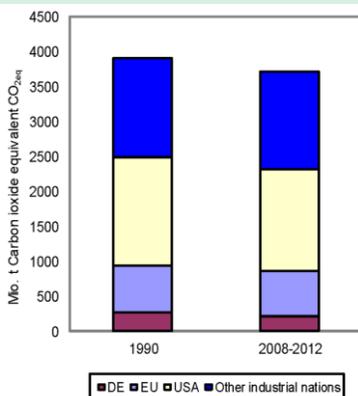


Figura 38: Protocolo de Quioto. Fonte: <https://unfccc.int/>

Além disso, foi criada a “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas” (UNFCCC) e o “Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas” (IPCC), um órgão oficial para administrar o trabalho político global.

O Protocolo de Quioto foi crucial para iniciar discussões globais sobre a redução das emissões de GEEs, embora não tenha alcançado suas metas estabelecidas. Em 2020, ele foi essencial para o debate do Acordo de Paris. As negociações sobre mudanças climáticas enfrentam interesses contraditórios entre emissores tradicionais (como EU, EUA, Canadá, Japão e Rússia) e países emergentes e em desenvolvimento.

Os emissores “tradicionais”, com suas indústrias já desenvolvidas, viram países emergentes, como Brasil, China e Índia, como uma possível ameaça às suas economias, por não terem limites de emissões. As economias emergentes apresentam baixas emissões de GEE per capita, mas altos níveis absolutos.

A evolução das muitas conferências e discussões que foram necessárias para abordar a questão das mudanças climáticas. As

reuniões anuais, chamadas "Conferência das Partes" (COP), têm cerca de duas semanas de duração e servem para discutir os detalhes do acordo global de proteção climática.

No ano de 2015 tive a COP 21 em Paris, muito importante, inclusive para as pautas ligadas ao hidrogênio.

**Na COP21, ou "Acordo de Paris" (2015), tivemos muitos avanços:**

- Foi acordado o acompanhamento do protocolo de Quioto para além do ano de 2020;
- Um limite mais rigoroso para temperatura de aquecimento global de 1,5°C em vez de 2°C. Configurar metas nacionais de redução a cada 5 anos e países emergentes como China e Índia passam também a contribuir;
- A partir do ano de 2020, seriam fornecidos US\$100 bilhões por países industrializados aos países em desenvolvimento;
- Com o término do Protocolo de Quioto, um novo tratado será baseado no Acordo de Paris;
- Mais de 110 países, incluindo EUA e China, haviam ratificado o Acordo de Paris. Mas os EUA cancelaram sua participação em 2016 sob o presidente Trump, mas voltam com o presidente Biden.

A manutenção da permanência de países em acordos internacionais pode ser complicada, uma vez que estão sujeitos a mudanças de liderança e situações econômicas, entre outras coisas. A discussão sobre a necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) continua, e as reuniões anuais da Conferência das Partes (COP) são fundamentais para avançar nas negociações.

Na COP21, em Paris, foram estabelecidas metas para a redução das emissões de GEE, e desde então foram realizadas várias outras COPs, incluindo a COP26, em 2021 em Glasgow, onde foram acordados novos cortes nas emissões de CO<sub>2</sub> e abordado o tema do carvão, responsável por 40% das emissões anuais de CO<sub>2</sub>.

Foi acordado que os países se reunirão no próximo ano para estabelecer novos cortes nas emissões de CO<sub>2</sub>, visando manter o aumento da

temperatura global dentro de 1,5°C, o que é considerado necessário pelos cientistas para evitar uma catástrofe climática.

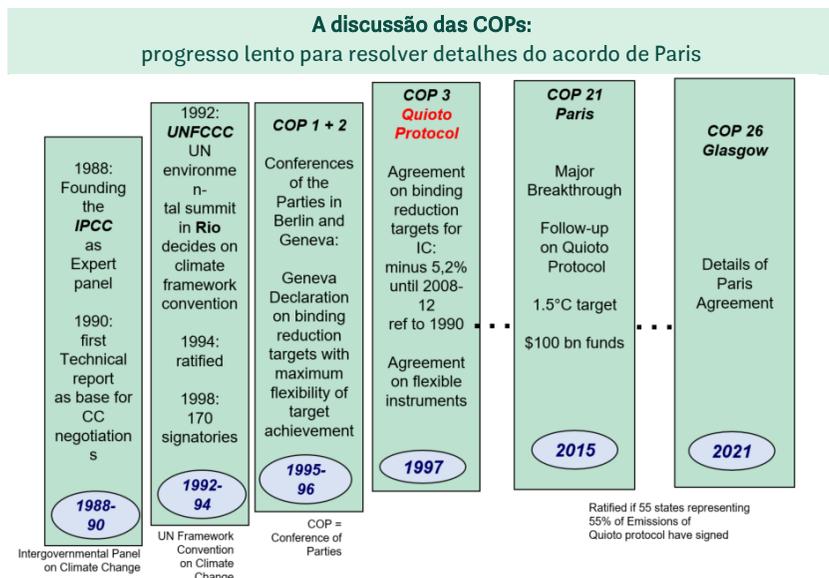


Figura 39: A discussão das COPs. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Apesar das promessas atuais limitarem apenas o aquecimento global a cerca de 2,4°C, foi prometido aumentar significativamente o valor do financiamento de países industrializados para países em desenvolvimento.

O objetivo é ajudá-los a lidar com os efeitos das mudanças climáticas. Ficou acordado também que será criado um fundo de trilhões de dólares por ano a partir de 2025. Essas reuniões são importantes para promover a cooperação internacional e a adoção de medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Resultados na COP26 (Glasgow, 2021):

- **Redução de combustíveis fósseis:** Os líderes mundiais concordaram em eliminar gradativamente subsídios para combustíveis fósseis (carvão, petróleo ou gás natural), no entanto, nenhuma data foi definida;

- **Acordo EUA-China:** Os maiores emissores de CO<sub>2</sub> do mundo, os EUA e a China, prometeram cooperar mais na próxima década, na redução as emissões de metano e a mudança para energia limpa;
- **Árvores:** Líderes de mais de 100 países - com cerca de 85% das florestas do mundo - prometeram deter o desmatamento até 2030. Isso é visto como vital, pois as árvores absorvem grandes quantidades de CO<sub>2</sub>;
- **Metano:** Um plano para reduzir 30% das emissões de metano até 2030 foi acordado por mais de 100 países. Atualmente, o metano é responsável por um terço do aquecimento gerado pelo homem. Os grandes emissores (China, Rússia e Índia) não aderiram, mas espera-se que eles se juntem mais tarde;

Para reduzir as emissões globais de CO<sub>2</sub>, foi implementado o comércio de emissões da União Europeia (UE). Em 2005, a União Europeia, que atualmente tem 27 estados membros, implementou o primeiro sistema de comércio de emissões de CO<sub>2</sub>. Um preço nas emissões de CO<sub>2</sub> foi definido com novas regras de emissões para as indústrias.

Com isso, as emissões de CO<sub>2</sub> não são mais gratuitas. Existe um preço a ser pago por cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida.

O sistema funciona da seguinte forma: as emissões totais (regionais) são limitadas e a intenção é uma redução lenta, mas contínua. Para emitir CO<sub>2</sub>, é necessário comprar certificados. Esses certificados são negociáveis dentro da UE e em outros países, e a compensação em outros países pode ser incluída no comércio. O comércio de emissões de CO<sub>2</sub> incentiva as empresas a reduzirem suas emissões, já que isso pode resultar em economia de custos.

Além disso, o sistema garante que as emissões de CO<sub>2</sub> sejam reduzidas de forma gradual e contínua, contribuindo para a luta contra as mudanças climáticas. O uso do hidrogênio verde pode se beneficiar desse sistema de comércio de emissões de CO<sub>2</sub>, já que a produção de hidrogênio verde não emite CO<sub>2</sub>.

## Comércio de emissões na União Europeia (UE)

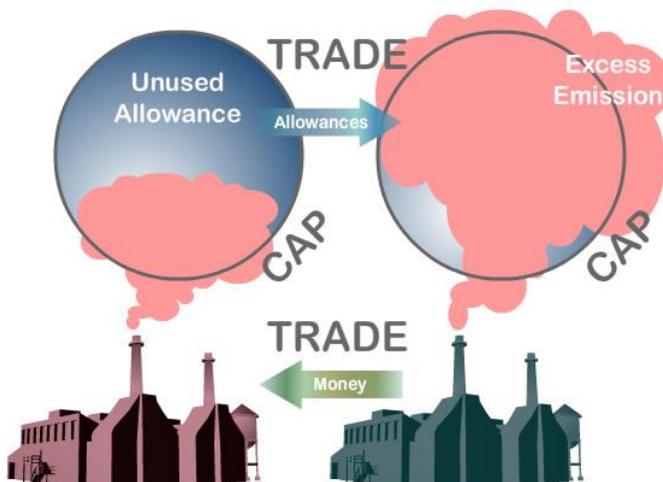


Figura 40: Comércio de emissões na União Europeia.  
Fonte: Notas de aulas, 2023.

Em 2005, a UE implementou o primeiro sistema desse tipo, com o objetivo de limitar as emissões de CO<sub>2</sub> das indústrias e colocar um preço nas emissões. Dessa forma, a emissão de CO<sub>2</sub> deixou de ser "gratuita" e agora é necessário comprar certificados para emitir CO<sub>2</sub>.

Os certificados de emissões de CO<sub>2</sub>, ou seja, o direito de emitir CO<sub>2</sub>, são negociáveis dentro da UE, e a compensação em outros países pode ser incluída no comércio. Isso torna o CO<sub>2</sub> um bem negociável e permite que os países e empresas comprem e vendam créditos de carbono.

A negociação de CO<sub>2</sub> pode ser feita entre países da UE e membros do protocolo de Quioto, num mercado transparente de comércio de emissões de CO<sub>2</sub>. São exigidas metas de número de certificados, com punição em caso de descumprimento.

Esse mecanismo de comércio de emissões da UE não só limita as emissões de CO<sub>2</sub>, mas também incentiva a inovação e o investimento em tecnologias de baixo carbono, como o hidrogênio verde.

O sistema de comércio de emissões da UE estabeleceu um mecanismo para precificar as emissões de CO<sub>2</sub> das empresas. Basicamente, as

empresas que emitem CO<sub>2</sub> precisam comprar certificados de emissão para comprovar quanto foi emitido.

### Comércio de emissões na União Europeia: Mecanismos de comércio de emissões da UE: Limite & Comércio

#### Limitar o CO<sub>2</sub> com um limite e torná-lo um bem negociável através de um sistema de comércio

##### **LIMITE: Definição de um total de emissões máximas de CO<sub>2</sub>, com diminuição contínua**

- Distribuição dessa emissão máxima entre todos os emissores em uma região, por exemplo, leilão;
- A UE está estabelecendo uma meta global de redução de CO<sub>2</sub>, todos os países da UE têm que traduzir isso em metas nacionais de redução de CO<sub>2</sub>.

##### **COMÉRCIO: Criação de um mercado transparente de comércio de emissões de CO<sub>2</sub>**

- As forças do mercado definirão onde as emissões de CO<sub>2</sub> serão reduzidas;
- Certificados podem ser negociados entre membros da UE e com membros do protocolo Quioto;
- Os certificados são válidos por um período limitado. Então, todos os anos os as instituições devem entregar o número de certificados, caso contrário, eles são punidos.

##### **PARTICIPAÇÃO: obrigatória, os principais emissores de CO<sub>2</sub> da energia e da indústria**

- Fornos com capacidade térmica > 20 MW (não aplicável à biomassa/incineração de resíduos);
- Plantas de coque, refinarias de petróleo bruto;
- Produção de metal, ferro e aço;
- Produção de cimento, vidro, cerâmica;
- Produção de celulose e papel.

##### **TAMANHO DO COMÉRCIO DE EMISSÕES DA UE:**

- No total, cerca de 4.000 a 5.000 instalações cobertas pela Diretiva da UE;
- Cerca de 46 % das emissões de CO<sub>2</sub> dentro da UE cobertas.

Outros emissores não incluídos na regulação do sistema de comércio de emissões estão sendo alvo de instrumentos adicionais (CO<sub>2</sub>-tributação, eco-imposto etc.)

*Figura 41: Fonte: Notas de aulas, 2023.*

Existe um limite estabelecido pelo governo, e quando uma empresa não utiliza todos os certificados, é possível vendê-los para outra empresa.

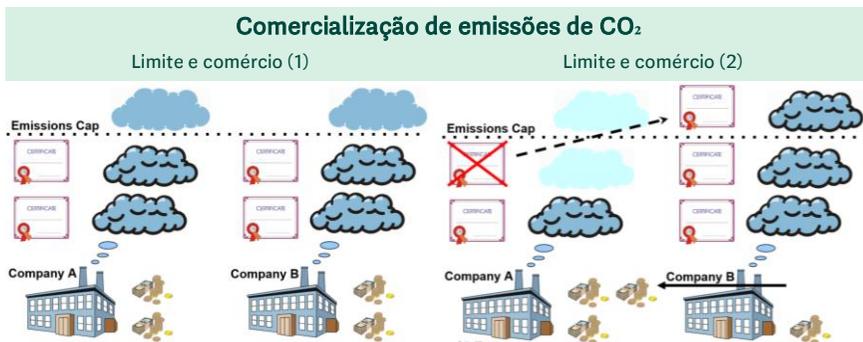


Figura 42: **Comercialização de emissões de CO<sub>2</sub>**. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Outras medidas políticas para a redução do CO<sub>2</sub> abordam pequenos emissores de uma forma direta e simples:

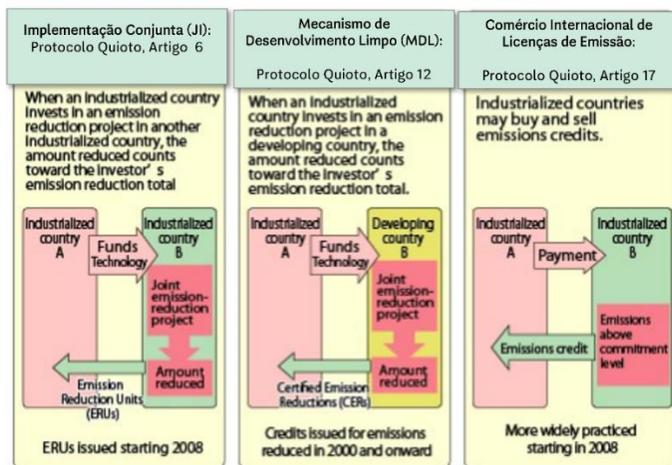
- Limites fixos de CO<sub>2</sub> para carros e caminhões, por exemplo, para carros em g CO<sub>2</sub>/km;
- Proibição de tecnologia ineficiente, por exemplo, caldeiras domésticas antigas;
- Imposto de CO<sub>2</sub> para aquecimento de combustíveis, com taxa adicional de CO<sub>2</sub> em combustíveis fósseis para fins de aquecimento;
- Benefícios fiscais e fiscais de CO<sub>2</sub> para combustíveis e tecnologias com menos emissão CO<sub>2</sub> ou sem CO<sub>2</sub>. Isenção de impostos para carros elétricos, por exemplo, na Noruega;
- Uso de fatores energéticos primários, por exemplo, para passagem de energia energética de uma casa;
- Obrigação de redução de CO<sub>2</sub> para setores não ETS (sistema de comércio de emissões da UE). Por exemplo, no Reino Unido, os carros utilitários devem obter uma redução de CO<sub>2</sub> com os clientes, compensando na área de energia, por exemplo, vendendo lâmpadas eficientes, isolamento de casas etc.

Além do Comércio Internacional de Emissões (até agora só realizado na UE), o Protocolo Quioto prevê:

## Mecanismos flexíveis abrem o comércio de emissões da UE

### Comércio de emissões: limite e comércio

#### The Kyoto Protocol 's flexible mechanisms for fulfilling emission reductions commitments



Source: Japan's Ministry of the Environment

Figura 43: Mecanismos flexíveis do comércio de emissões da UE

Fonte: Notas de aulas, 2023.

- **Ideia básica:** benefício da redução das emissões de GEE em um país pode ser exportado para responder pela meta de redução de outro país;
- **Mecanismo Flexível:** compreendem mecanismo conjunto de implementação e desenvolvimento limpo.

De acordo com a “**Implementação Conjunta (JI)**”, que prevê a cooperação entre países industriais, destacam-se:

- **A implementação conjunta:** (artigo 6 do Protocolo de Quioto), permite que um país, com um compromisso de redução ou limitação de emissões sob o Protocolo Quioto (Anexo B), ganhe unidades de redução de emissões (ERUs), a partir de um projeto de redução de emissões ou remoção de emissões em outro Membro anexo B. O resultado são Unidades de Redução de Emissões (URs).
  - 1 URs equivale a uma tonelada de redução de CO<sub>2</sub>, que pode ser contabilizada para o cumprimento de sua meta Quioto;
  - A quantidade de ERUS produzida por uma ação depende da respectiva linha de base de CO<sub>2</sub>

- **Sistema de comércio de emissões da UE:** prevê importação limitada de URs de países não-UE, como substituto para certificados de CO<sub>2</sub> da UE (43 países estão listados no anexo I/B. Por exemplo, países da UE. O Brasil não pertence a eles.

De acordo com a “**Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**”, que prevê a cooperação entre países industriais e emergentes (em desenvolvimento), destacam-se:

- **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL):** (artigo 12 do Protocolo de Quioto), permite que um país industrial (Anexo B) com um compromisso de redução de emissões no âmbito do Protocolo Quioto implemente um projeto de redução de emissões nos países em desenvolvimento.
  - O resultado é Redução Certificada de Emissões (RCE, 1 CER equivale a uma tonelada de redução de CO<sub>2</sub>), que pode ser contabilizada para o cumprimento da meta do Protocolo de Quioto do país financiador;
  - O valor dos RCEs produzidos por uma ação, depende da respectiva linha de base de CO<sub>2</sub>
- **Sistema de comércio de emissões da UE:** prevê importação limitada de RCEs de países não-UE como substituto para certificados de CO<sub>2</sub> da UE.

### O MDL é o mecanismo adequado de cooperação com o Brasil!

Outras medidas políticas para a redução do CO<sub>2</sub> são para pequenos emissores de uma forma direta e simples:

- **Limites de CO<sub>2</sub> para carros e caminhões:**
  - Limites fixos para emissões de CO<sub>2</sub> específicos ou totais, por exemplo, para carros em gCO<sub>2</sub>/km;
  - Proibição de tecnologia ineficiente, por exemplo, caldeiras domésticas antigas.
- **Imposto de CO<sub>2</sub> para aquecimento de combustíveis:**
  - Taxa adicional de CO<sub>2</sub> em combustíveis fósseis para fins de aquecimento.
- **Benefícios fiscais e fiscais de CO<sub>2</sub> para combustíveis e tecnologias sem CO<sub>2</sub> ou sem CO<sub>2</sub>:**
  - Por exemplo, sobre combustíveis fósseis ou eletricidade (por exemplo, imposto ecológico na Alemanha);

- Isenção de impostos para carros elétricos (por exemplo, na Noruega);
- Uso de fatores energéticos primários (por exemplo, para passagem de energia energética de uma casa).
- **Obrigação de redução de CO<sub>2</sub> para setores não ETS (sistema de comércio de emissões da UE):**
  - Por exemplo, no Reino Unido: os utilitários devem obter uma redução de CO<sub>2</sub> para os clientes que fornecem energia (por exemplo, vendendo lâmpadas eficientes em energia, isolamento de casas etc.)

Podemos concluir que o mecanismo político está preparado, e agora precisa ser colocado em prática, com ações econômicas e técnicas!

**E hidrogênio?** O hidrogênio verde (H<sub>2</sub>Verde) é um facilitador da descarbonização.

É um aliado na redução de emissões de CO<sub>2</sub> nas áreas de energia, transporte e indústria, mas a eficácia desse processo depende da sua origem.

#### Destacamos do uso de Hidrogênio Verde:

- O uso de hidrogênio em células de combustível ou indústria é livre de CO<sub>2</sub>;
- Hidrogênio pode ser a chave para a descarbonização em energia, transporte e indústria;
- No entanto, a produção de hidrogênio pode emitir CO<sub>2</sub>;
- Hidrogênio cinza feito de combustíveis fósseis em reformadores a vapor causa emissões de CO<sub>2</sub>;
- Hidrogênio verde produzido por eletrólise com eletricidade verde é livre de CO<sub>2</sub>;
- O uso de hidrogênio verde em vez de combustíveis fósseis leva à redução do CO<sub>2</sub>;
- Empresas do sistema de comércio de emissões da UE economizam dinheiro em certificações de CO<sub>2</sub> ao usar o Green H<sub>2</sub>;
- Substituição de combustíveis fósseis por Green H<sub>2</sub> no Brasil pode entregar certificados de CO<sub>2</sub> para uso em países da UE;
- Portanto, o Hidrogênio Verde pode ser uma fonte de renda adicional, que justifica os custos de implementação mais altos.

É importante destacar que a quantidade de produção de hidrogênio deve estar atrelada à produção mínima de CO<sub>2</sub> possível.

O hidrogênio verde é obtido por meio de eletrólise com eletricidade renovável, tornando-o livre de emissões de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o

hidrogênio cinza é produzido a partir de combustíveis fósseis, gerando emissões de CO<sub>2</sub> no processo. O uso de hidrogênio verde pode ser uma solução interessante para a redução do consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, na diminuição de emissões de CO<sub>2</sub>.

Para as indústrias da Europa, que precisam comprar certificados de CO<sub>2</sub>, o investimento em hidrogênio verde pode ser uma alternativa atraente. Inclusive, o comércio de hidrogênio verde entre Brasil e Alemanha pode ser uma boa oportunidade para ambas as partes, favorecendo a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e a promoção do desenvolvimento sustentável.

## 2. Processos de Transição energética

A transição energética é a mudança do uso de combustíveis fósseis e nucleares para fontes renováveis de energia. O objetivo é transitar de um mundo movido por combustíveis que emitem CO<sub>2</sub>, para uma matriz energética mais limpa e sustentável sem emissões de CO<sub>2</sub>.

Existem processos de transição de energia que podem ser adotados para alcançar esse objetivo. A transição para fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica, pode ajudar a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. O importante é buscar alternativas sustentáveis para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>, preservando o meio ambiente e garantindo um futuro mais limpo e saudável para as próximas gerações.

A primeira pergunta sobre o processo de transição energética que podemos levantar é:

**“Será que isso é um assunto novo, quando falamos sobre de um sistema de energia completamente baseado em renováveis?”**

Ter o sistema energético atual baseado completamente em renováveis, não é uma novidade. Na verdade, se olharmos para a história do nosso sistema energético, começamos em 1850 com um sistema quase totalmente baseado em energia renovável.

Ao longo do tempo, passamos por vários processos de transição, começando com o carvão na Inglaterra e Reino Unido, durante a

Revolução Industrial. Depois, a partir de 1920, começamos a utilizar mais petróleo e menos carvão, além de descobrir o gás natural.

### A história do uso de energia De Energia Renovável sobre Carvão, depois Petróleo e gás natural – e de volta à Energia Renovável novamente

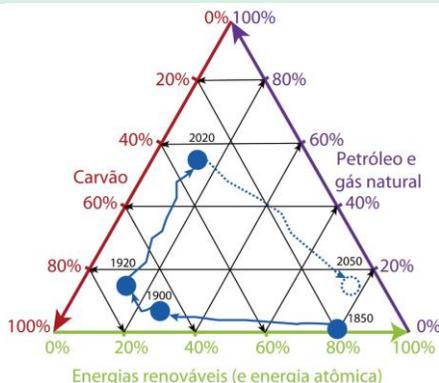


Figura 44: A história do uso de energia. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Atualmente, ainda dependemos de combustíveis fósseis, nos transportes, indústria e aquecimento das casas, mas estamos caminhando para uma nova transição energética. Essa mudança nos levará de volta às fontes renováveis.

### A história do uso de energia: voltando a 100% renovável

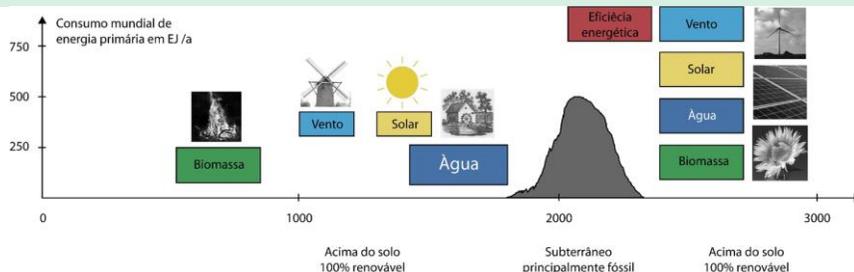


Figura 45: voltando a 100% renovável. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Durante um longo período, nossas necessidades energéticas eram atendidas pelas fontes renováveis, que eram utilizadas há cerca de 1.000 anos.

Posteriormente, foram criadas turbinas movidas a vento, mas não para gerar eletricidade como fazemos hoje, mas sim para auxiliar na

agricultura, moagem de grãos, entre outras atividades. A água corrente também era utilizada para mover moinhos em vez de gerar eletricidade.

Atualmente, podemos usar fontes renováveis como a energia solar para alimentar nossas televisões e outros dispositivos. O Brasil é um exemplo de como podemos aproveitar a energia hidráulica para gerar eletricidade. Além disso, podemos utilizar biomassa, energia eólica, solar e hidráulica de forma renovável e sustentável.

Estamos voltando às fontes renováveis, deixando de lado os combustíveis fósseis inclusive o carvão. A história mostra que o período em que utilizamos essas fontes, foi muito curto em comparação com todo o tempo em que existimos.

Vamos analisar a seguir, dados fornecidos pela Agência Internacional de Energia (IEA), sobre a possibilidade de tornar o mundo completamente livre do uso de combustíveis fósseis até 2050. Para isso, devemos destacar a tendência de aumento da demanda de energia, que deve ser acompanhada por uma maior eficiência energética e utilização de fontes renováveis.

A Agência Internacional de Energia (IEA) está trabalhando em diversas frentes para alcançar esse objetivo. No entanto, ainda enfrentamos um retrocesso em relação ao uso de carvão e combustíveis fósseis.

A transição energética tem sido bem-sucedida até agora, mas ainda há muito a ser feito para garantir a sustentabilidade do sistema energético global. O uso de combustíveis fósseis, como o carvão, revolucionou a forma como produzimos e consumimos energia. Mas, também trouxe consequências negativas para o meio ambiente e para a saúde humana.

Com o aumento da população mundial e a busca por mais conforto e comodidade (ar condicionado, iluminação e aquecimento de água), a demanda por energia tem crescido de forma drástica ao longo dos anos, como mostra o gráfico.

## Transição energética: energia primária para fins energéticos x tempo

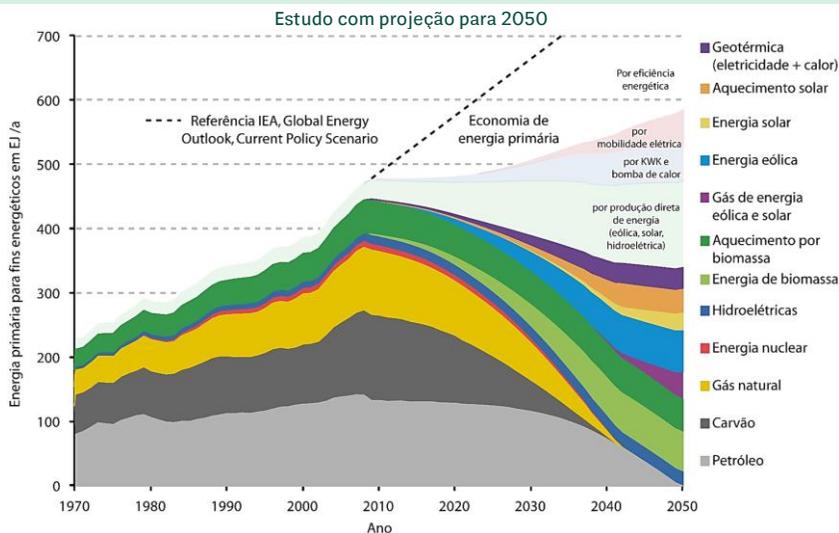


Figura 46: Transição energética. Fonte: Notas de aulas, 2023.

### Destacamos na história do uso de energia:

- Antes de 1800: uso da biomassa para calor e animais para energia cinética;
- 1859: primeiro poço comercial de petróleo perfurado nos EUA;
- 1930: o uso de carvão aumentou com o crescimento da energia a vapor e das usinas a carvão;
- 1960: a demanda por petróleo aumenta à medida que os veículos a gasolina decolaram, representando 40% do consumo global de energia em 1970;
- 2020: os combustíveis fósseis representaram 78% do mix energético global.

Durante muito tempo, utilizamos fontes renováveis, como a energia solar, eólica e hidráulica, para suprir nossas necessidades energéticas. Agora, precisamos voltar a explorar essas fontes para garantir um futuro mais sustentável para o planeta.

## Destaques na história do uso de energia

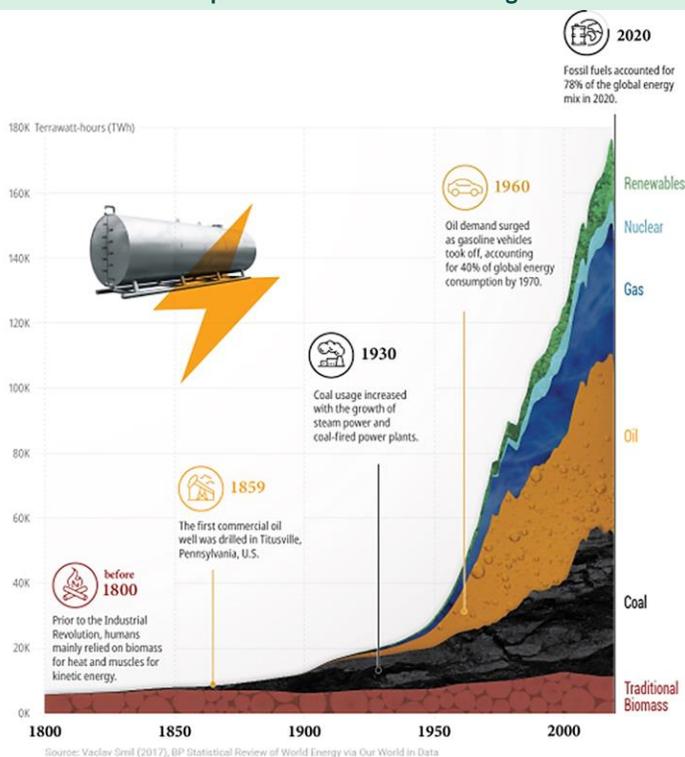


Figura 47: Fonte: Visual Capitalist, 2022, em:

<https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-history-of-energy-transitions/>

E para isso, existem três instrumentos para a transição energética. Estes, são ferramentas essenciais para substituir as principais fontes de energia, por fontes renováveis. O propósito é reduzir nosso potencial de mudança climática e as emissões de gases de efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>. Além disso, precisamos melhorar a eficiência energética em nossos processos.

Já vimos como funciona o comércio de emissões, que é uma das tentativas de responder ao problema das emissões. Este é um caminho de transição, que pode envolver a participação de todos os países do mundo de alguma forma.

### Três principais instrumentos de proteção climática: Os três pilares para um fornecimento de energia 100% renovável

#### Comércio de emissões

- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> de usinas e instalações industriais  
Redução da produção convencional e aumento da eficiência nas usinas

#### Energias renováveis

- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> na produção de energia pela RES  
Aumento da participação das Renováveis na produção de energia

#### Eficiência energética

- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> pela redução da demanda de energia  
Redução da demanda por medidas de eficiência energética



Figura 48: Notas de aulas, 2023.

Sobre a história da possível transição energética para fontes renováveis, existem diversos pilares para essa transição, sendo um deles a utilização de fontes de energia 100% renováveis. E é aqui que entra o hidrogênio verde, que representa uma forma de armazenar a energia gerada por essas fontes.

É importante ressaltar que o hidrogênio não é uma fonte primária de energia, mas sim uma forma de armazenar e transportar energia limpa para ser utilizada em momentos de alta demanda.

O hidrogênio verde é produzido a partir do processo de eletrólise da água, utilizando energia renovável, e não emite gases de efeito estufa em sua produção e utilização.

### **“E como os sistemas e as matrizes energéticas atuais, presentes em todo o mundo inteiro, começou?”**

Nós utilizamos o sistema de energia atual porque precisamos de energia para ter uma vida confortável e agradável. Vivemos em casas e edifícios que necessitam de energia elétrica para operar nossas ferramentas, eletrodomésticos, sistemas de aquecimento e resfriamento. Além disso, precisamos de energia para nos deslocarmos até o trabalho e para o transporte urbano.

As cidades também possuem seus próprios sistemas que requerem energia, como iluminação pública, semáforos e sistemas de transporte coletivo. Nesse contexto, a utilização de fontes renováveis e do hidrogênio como forma de armazenamento de energia, se tornam

fundamentais para a construção de um futuro mais sustentável e consciente.

Como é a maioria dos sistemas de energia, na era fóssil-nuclear, em todo o mundo? A seguir, apresentamos um exemplo de um sistema antigo, antes do processo de transição. Centrais elétricas estão interligadas com cidades e vilas e seus edifícios, onde as pessoas vivem e trabalham utilizando redes elétricas.

Em geral, nos países industrializados, a energia é gerada por usinas centralizadas. Estas podem ser hidrelétricas, nucleares, eólicas ou de biomassa, e ficam distantes dos centros consumidores, exigindo a construção de redes de transmissão.

#### Modelo de sistema antigo, antes do processo de transição

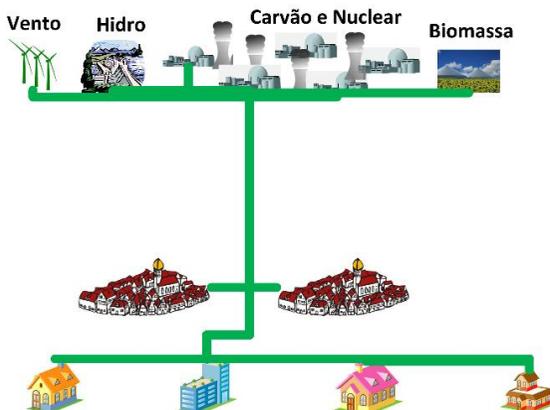


Figura 49: *Modelo de sistema antigo.* Fonte: Notas de aulas, 2023.

Além disso, o armazenamento de energia é um desafio importante, e é aí que o hidrogênio verde entra em cena.

Atualmente, a energia hidráulica bombeada, é usada na Europa para armazenamento, enquanto no Brasil as represas são enchidas naturalmente por processos naturais. O hidrogênio pode ser uma alternativa para armazenar energia em locais sem acesso a represas ou com limitações em outras formas de armazenamento.

Também existem usinas geradoras de eletricidade, próximas às cidades, que podem ser vantajosas, se gerarem calor residual. Este pode ser aproveitado nas redes municipais.

Em alguns países, como na Europa, há depósitos naturais de gás, que podem ser utilizados para armazenamento. O transporte, principalmente carros individuais, são impulsionados por produtos petrolíferos e alguns usam gás natural. Ambos são abastecidos em postos. Outro ponto importante, é a infraestrutura existente para gás e eletricidade, que não é adequada para o petróleo. Isso significa que é necessário abastecer todos os postos de gasolina com caminhões.

Então, onde precisamos focar para fazer a transição para a energia renovável? A demanda de energia será mais do que o dobro da atual, mas como vamos suprir com recursos fósseis finitos?

No gráfico a seguir, apresentado pelo *Instituto Fraunhofer*, da Alemanha, temos a perspectiva de redução do consumo de energia primária no período de 2010 a 2050.

### Perspectiva de redução do consumo de energia primária no período de 2010 a 2050

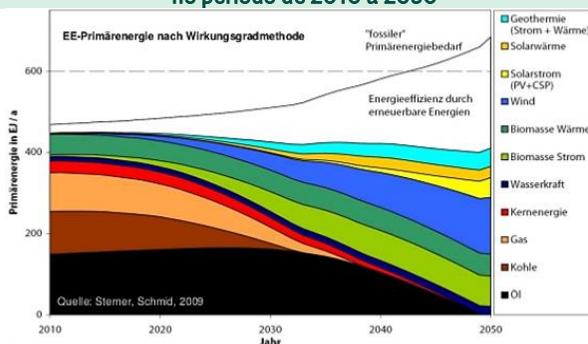


Figura 50: *Perspectiva de redução do consumo*. Fonte: Instituto Fraunhofer.

As fontes de carvão, petróleo, gás natural, energia atômica e alternativas, estão representadas em cores distintas. O desafio é reduzir o consumo de energia primária em 1/3 e economizar 2/3 sem comprometer o nosso estilo de vida e conforto.

Mas já existem tecnologias disponíveis, e em desenvolvimento, para a transição energética, que podem ajudar nessa tarefa.

É importante salientar que não precisamos depender exclusivamente da energia nuclear, pois, embora ela não emita carbono, apresenta problemas relacionados ao armazenamento de resíduos nucleares. Existem outras fontes de energia renovável que podem ser utilizadas para suprir a demanda energética de forma sustentável.

E como podemos chegar a reduzir para 1/3 de nossa demanda atual e ainda usando as estruturas existentes nos países?

O uso de modelos de energia antigos não é mais suficiente para atender às demandas futuras. Para isso, é necessário integrar todas as fontes disponíveis, como eletricidade, calor, frio e combustíveis. Não há competição entre essas fontes, pois elas podem ser combinadas e utilizadas de forma complementar.

Uma das formas de armazenar essas fontes é através do hidrogênio verde, que pode ser produzido a partir da eletricidade renovável e armazenado para uso posterior. Além do hidrogênio, existem outros combustíveis que podem ser utilizados para gerar eletricidade, refrigeração, calor e movimento dos veículos. Essa integração de fontes de energia é a chave para a transição energética e para a construção de um futuro mais sustentável.

### **A chave da transição energética é a integração de energias!**

- Não há mais separação entre “*eletricidade*”, “*calor/frio*” e “*combustíveis*”;
- “*Eletricidade*” será usada para gerar “*calor/frio*” ou “*combustível*”;
- “*Combustível*” vai gerar “*eletricidade* e “*calor/frio*”.

No Brasil, células fotovoltaicas podemos produzir eletricidade e calor de forma descentralizada. As fazendas eólicas e solares geralmente são construídas longe dos centros populacionais, porém a energia precisa estar próxima de onde é consumida. É necessário investir em fontes alternativas de geração de energia para suprir essa demanda.

A seguir, apresentamos um modelo energético possível para a fase de transição energética.

### O sistema em processo de transição

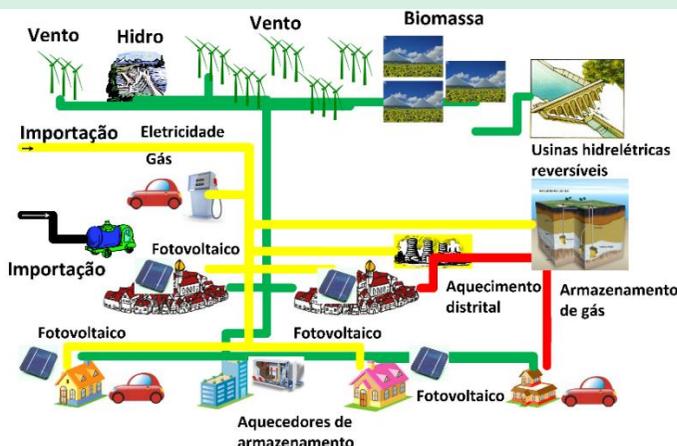


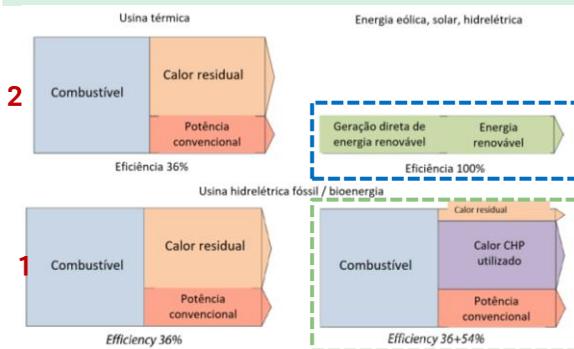
Figura 51: O sistema em processo de transição. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Com a utilização de tecnologias de transição energética, podemos eliminar o uso de usinas geradoras de eletricidade movidas a energia nuclear, combustíveis fósseis e carvão. Além disso, podemos observar os ganhos em eficiência energética.

Assim, é possível alcançar uma matriz energética mais limpa e sustentável, por meio da utilização de fontes renováveis como a energia solar, eólica e hidrelétrica.

### Transição Energética = Economia primária de energia

Filosofia da Transição Energética é a integração de todos os setores energéticos!



A energia renovável tem maior eficiência em relação às usinas térmicas, já que não há desperdício de calor. Podemos aumentar a eficiência utilizando CHP (Sistema combinado de geração de calor e energia).

Figura 52: Filosofia da Transição Energética. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Vamos imaginar que estamos utilizando carvão como combustível em uma usina elétrica. Nesse caso, apenas 36% desse carvão realmente se converte em energia, enquanto uma grande quantidade de calor residual é desperdiçada. (modelo 1, na imagem)

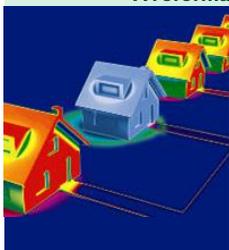
Em um sistema mais descentralizado, seria possível aproveitar melhor esse calor, mas, infelizmente, muitas dessas usinas estão muito afastadas dos pontos de utilização desse calor residual.

Observe o enorme aumento na eficiência energética, se usarmos a geração direta a partir de fontes renováveis, como a energia solar e eólica. Nesse caso, a eficiência é de 100%. (modelo 2, na imagem). Por outro lado, ainda é possível utilizar combustíveis fósseis de maneira convencional, mas com um desperdício de calor menor (modelo 3, na imagem).

Ou seja, ao mudarmos de combustíveis fósseis para fontes renováveis, podemos avançar muito em direção a altos níveis de eficiência energética! É preciso destacar que, no mundo, os edifícios são responsáveis por cerca de 50% do consumo da energia elétrica produzida.

Para alcançar a transição energética, é importante realizar *retrofit* dos edifícios existentes (*retrofit*: reformar com foco na eficiência energética), assim como construir novos mais eficientes.

### A reforma de edifícios será benéfica para a transição energética!



- Dissociação da demanda de calor do espaço de convivência per capita;
- Fornecimento principalmente de eletricidade, em parte, por PV em telhados;
- Água quente por sistemas térmicos solares;
- Demanda de calor residual por bombas de calor;
- Estratégias passivas (ventilação natural) para “refrescar”, reduzir carga térmica;
- Demanda de calor <math><15\text{kWh/m}^2\text{a}</math>;

#### Reformas:

- Edifícios reformados até 2050;
- Até 90% menos demanda de energia;
- Sistemas de aquecimento distrital (principalmente em centros urbanos) para uso de calor de resíduos industriais.

Figura 53: A reforma para edifícios eficientes. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Falando sobre regiões mais frias, é comum haver um grande desperdício de energia para aquecer as casas. No entanto, existem maneiras de reduzir esse desperdício e aumentar a eficiência do sistema. Uma das maneiras é utilizar a energia solar fotovoltaica nos telhados, além de substituir os métodos tradicionais de aquecimento por bombas de calor mais eficientes.

Com essas medidas, é possível reduzir em até 90% o consumo de energia em casos mais extremos, reaproveitando a energia e aumentando a eficiência do sistema. Quanto menos calor perdemos no aquecimento dos prédios, menor é o consumo de energia.

Para regiões mais quentes, como o Brasil, é possível adotar medidas como a redução da incidência solar nos prédios (estratégias passivas bioclimáticas na arquitetura), diminuindo a necessidade do uso de ar-condicionado.

Essas soluções são semelhantes às adotadas em regiões mais frias, buscando sempre reduzir o desperdício de energia e aumentar a eficiência do sistema.

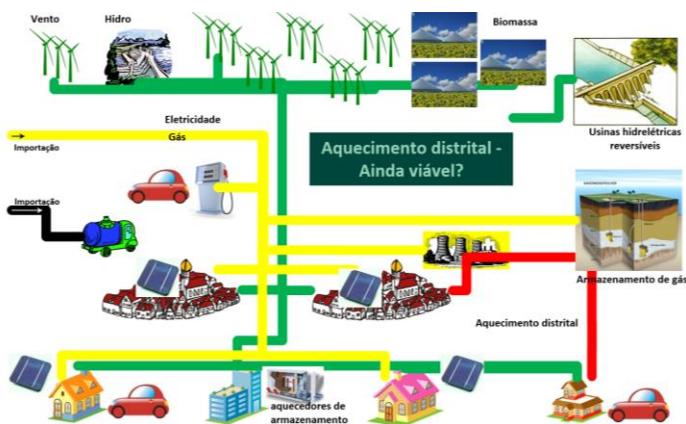


Figura 54: Modelo de sistema em processo de transição. Fonte: Notas de aulas, 2023

Em países mais frios, grande parte do gás é utilizado para aquecer prédios e residências. Embora atualmente não possamos dispensá-los, precisamos questionar se realmente precisamos da estrutura de gasodutos para isso.

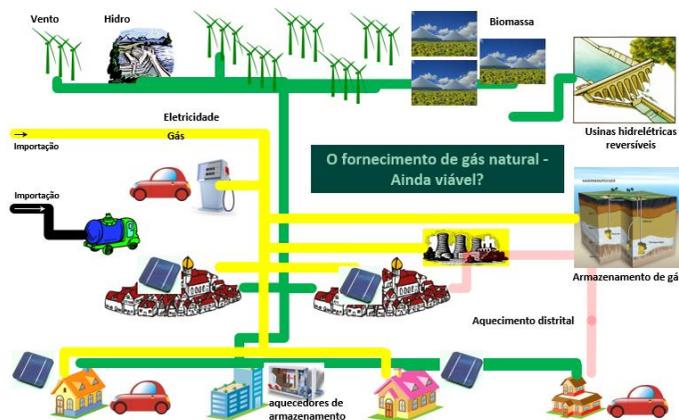


Figura 55: Fonte: Notas de aulas, 2023

No futuro, talvez não precisemos mais do gás. A maior parte do gás natural é usada para o aquecimento de edifícios. Podemos observar os sistemas distritais de aquecimento que são comuns no hemisfério norte, por exemplo.

Durante a transição energética, para uma economia mais sustentável, é importante buscar alternativas ao uso de combustíveis fósseis, como o petróleo cru. Para aquecer as casas, é possível utilizar outras fontes de energia, como a eletricidade gerada a partir de fontes renováveis.

No entanto, em regiões mais quentes, pode ser necessário o uso de ar-condicionado para resfriamento (caso do Brasil) ou aquecimento (caso da Europa ou EUS), o que também demanda energia elétrica.

É importante buscar soluções eficientes e sustentáveis como o uso de sistemas de energia solar ou a utilização de tecnologias mais eficientes.

O uso de combustíveis fósseis como o gás natural, traz muitas consequências negativas para o meio ambiente e para a eficiência energética. Uma alternativa promissora é a utilização de bombas de calor, que podem ser aplicadas tanto para aquecimento quanto para resfriamento de ambientes.

Com esse método, é possível aproveitar o calor ambiente, que é gratuito e abundante, para aquecer as casas, o que resulta em uma maior eficiência energética.

Além disso, essa mudança representa um grande avanço na transição para fontes de energia limpa e renovável, já que a energia elétrica usada nas bombas de calor pode ser gerada a partir de fontes renováveis, como a energia solar ou eólica.

Falando sobre sistemas de aquecimento para países mais frios ou regiões frias do Brasil, podemos utilizar tecnologias como aproveitamento do calor ambiente e bomba de calor para aquecer casas. Também é possível combinar fontes de energia renovável para atender às demandas futuras da sociedade.

### Aumento da eficiência ao usar bombas de calor e não queimar óleo e gás

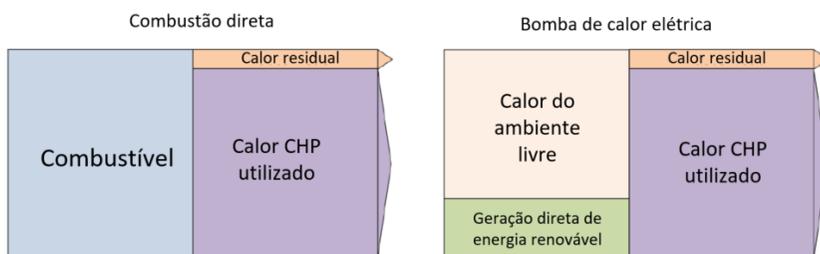


Figura 56: Fonte: Notas de aulas, 2023.

No entanto, é necessário investir em geração renovável em todos os setores, como eletricidade, mobilidade, aquecimento e resfriamento industrial, deixando de lado o uso de combustíveis fósseis e carvão.

Quando atingirmos uma matriz energética baseada em fontes renováveis, poderemos avaliar se ainda será necessário utilizar hidrogênio para armazenar energia durante períodos de baixa produção solar ou eólica. Dessa forma, podemos alcançar níveis ainda maiores de eficiência energética e prosseguir com a nossa transição energética.

### Aumento da eficiência ao usar bombas de calor e não queimar óleo e gás

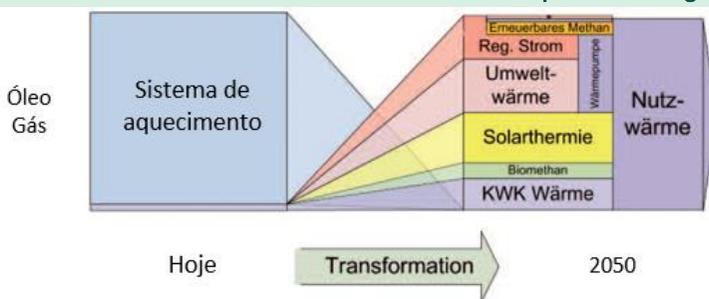


Figura 57: Fonte: Sterner

Onde entra mesmo o hidrogênio nessa transição?

Podemos gerar energia elétrica a partir de células fotovoltaicas e aquecer nossas casas utilizando bombas de calor. Com isso, não precisamos mais de postos de gasolina para abastecer veículos movidos a combustíveis fósseis. Este é um sistema 100% renovável e mais sustentável para o meio ambiente.

**“Será que podemos confiar que o sistema de energia atual (para ser 100% sustentável) continuará funcionando sempre?”**

Vamos imaginar a expansão desse modelo.

### Desenvolvemos um sistema 100% renovável: Podemos confiar na sua funcionalidade?

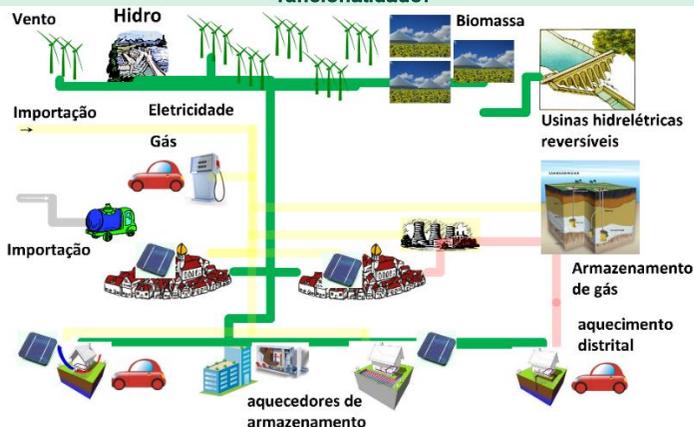


Figura 58: Fonte: Notas de aulas, 2023

Essa transição energética pode ser prejudicial e não funcionar o tempo todo. Isso ocorre porque a geração de energia solar e eólica é instável e volátil, assim como a demanda de energia também é volátil e flutuante. Em alguns momentos, a energia gerada pode não ser suficiente, portanto, precisamos de sistemas de armazenamento de energia durante essa transição.

No sistema novo, temos a geração de energia, a transmissão e distribuição através de linhas e redes públicas e, por fim, os pontos de consumo.

Porém, precisamos de um sistema intermediário que permita armazenar a energia produzida em momentos de baixa demanda para ser utilizada posteriormente, quando a demanda aumentar.

Um exemplo disso é a energia hidráulica bombeada, comum na Europa.

Quando a energia está escassa, a água é liberada, movimenta as turbinas e gera eletricidade, que é armazenada bombeando a água de volta para o reservatório.

No sistema atual, usamos outras formas de armazenamento, como a energia produzida a partir de carvão, que pode ser produzido em diferentes partes do mundo e armazenado em grandes pilhas. Isso também é feito com o gás natural, armazenado em tubulações e áreas subterrâneas. Temos também o armazenamento de petróleo em grandes tanques e de combustível nuclear para ser utilizado nas usinas gerando eletricidade quando necessário.

No entanto, essas formas de armazenamento não são sustentáveis a longo prazo.

É por isso que a pesquisa sobre hidrogênio verde é tão importante. Ele pode ser produzido a partir de fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica, e armazenado para ser utilizado quando necessário.

Além disso, o hidrogênio verde não emite poluentes ou gases de efeito estufa, tornando-se uma opção muito mais sustentável do que as fontes de energia fósseis utilizadas atualmente.

No futuro, quando passarmos a utilizar fontes renováveis, um dos problemas que surgirão será o armazenamento dessa energia. Primeiro, é necessário gerar a energia. A demanda só está crescendo!

Existem diversas opções de armazenamento, como as hidrelétricas de água bombeada, armazenamento de ar comprimido e baterias.

Nesse contexto, podemos discutir a utilização do hidrogênio para produção e armazenamento de energia. O hidrogênio pode substituir a função de armazenamento das fontes não renováveis que utilizamos atualmente.

Essa é uma das possibilidades do hidrogênio verde, que pode contribuir para uma matriz energética mais sustentável e limpa. No futuro, a transição para fontes renováveis de energia é crucial para a sustentabilidade do planeta.

No entanto, um dos principais desafios é a armazenagem de energia gerada por essas fontes intermitentes, como energia solar e eólica. É aqui que o hidrogênio verde entra em jogo. Ao contrário dos combustíveis fósseis, o hidrogênio verde é produzido a partir de fontes renováveis, como energia solar e eólica, e pode ser armazenado para uso posterior. Assim, ele pode substituir a função de armazenamento das fontes de energia não renováveis, como o carvão e o gás natural.

A geração de energia ocorrerá por meio de diversas fontes renováveis, como energia solar, eólica e bioenergia. Para armazenar essa energia, teremos hidrelétricas de água bombeada, armazenamento de ar comprimido, baterias e, claro, o hidrogênio verde.

Assim, o hidrogênio verde desempenhará um papel fundamental no armazenamento e na distribuição de energia no futuro sistema de energia, ajudando a garantir a sustentabilidade do planeta.

Os sistemas de aquecimento de armazenamento são um antigo exemplo de tal dispositivo de armazenamento de energia.

Outras possibilidades são a mudança de carga e, portanto, o uso de capacidades de armazenamento inerentes de cargas. Por exemplo, se tivermos energia eólica gerando eletricidade, podemos usar as bombas

hidráulicas para gerar calor. Esse calor pode ser utilizado para aquecer a água e, posteriormente, para atender a demanda de aquecimento e refrigeração de prédios e casas, inclusive com o uso de painéis solares.

Às vezes, não precisamos imediatamente da refrigeração, mas podemos armazená-la para uso posterior. As soluções à direita, da imagem do osso da energia, funcionam como a solução do hidrogênio. Embora o foco aqui seja o hidrogênio, é importante ressaltar que outras soluções também são viáveis.

No processo de transição para fontes de energia mais limpas, já substituímos muitas coisas em nosso modelo hipotético, mas ainda precisamos substituir os carros a combustíveis fósseis por carros elétricos. E para isso, precisamos de baterias para armazenar a energia elétrica.

Diferentemente dos carros movidos a combustíveis fósseis, em que a energia é armazenada no tanque do veículo ou nos postos de combustível, nos carros elétricos a energia é armazenada nas baterias. Isso é um grande avanço na eficiência energética e um passo importante para a sustentabilidade.

Os motores à combustão são notoriamente ineficientes, já que usam apenas uma pequena proporção da energia presente no combustível, cerca de 20%.

Além disso, os gases de exaustão dos carros e motos resultantes da queima de gasolina e diesel geram um grande desperdício de calor.

Ao contrário, os motores elétricos são muito mais eficientes, chegando a um nível de eficiência de 80%!

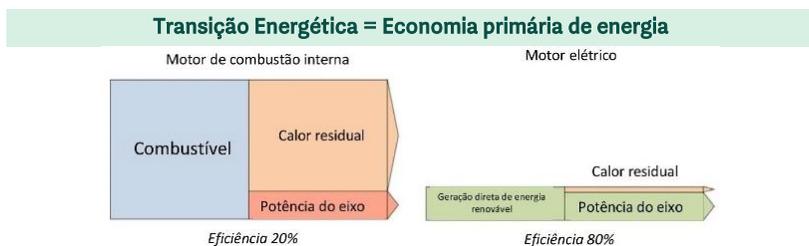


Figura 59: **Transição Energética.** Fonte: Notas de aulas, 2023.

Por esse motivo, a adoção de carros elétricos é um grande avanço no que diz respeito à eficiência energética e é um tema fundamental.

Temos os carros elétricos e o próximo passo poderia ser a produção de calor, que também poderia ser armazenado em vez de gás. Isso poderia ser gerenciado de acordo com a demanda e aplicado nas indústrias.

Outra questão importante a ser considerada é a flexibilidade. Ela não começa com o hidrogênio, mas com a flexibilização da demanda, armazenamento de calor, refrigeração, entre outras coisas. E seja possível flexibilizar também a demanda de calor e refrigeração, integrando esses aspectos e armazenando a energia para uso futuro.

Os eletrolisadores são capazes de produzir hidrogênio a partir da eletricidade como entrada. O processo ocorre com o uso da água para produzir hidrogênio e oxigênio, que pode ser emitido para a atmosfera sem grandes impactos climáticos. No entanto, surge a dúvida sobre se o hidrogênio é um bom meio. A partir dele, é possível produzir outros derivados, como etanol, metanol, e metano.

Porém, a questão agora é como integrar o hidrogênio em todos esses sistemas energéticos. Esse é um dos pontos que serão abordados ao longo dessa coleção de livros sobre Hidrogênio Verde.

Possamos utilizar o hidrogênio para preencher essa infraestrutura de gás natural já existente. Isso funciona bem! Até um certo ponto, podemos acrescentar o hidrogênio ao gás natural numa fase de transição.

O hidrogênio pode ser utilizado para produzir outros derivados, como o metano. Há mais de 100 anos, o químico francês *Paul Sabatier* descobriu que é possível transformar hidrogênio e CO<sub>2</sub> em metano. O metano renovável tem as mesmas características do gás natural.

É possível combinar a infraestrutura elétrica com a de gás natural em muitos países. Isso possibilita armazenar energia eólica durante a transição para o hidrogênio ou o metano renovável.

Além disso, as geradoras de energia elétrica podem ser movidas a hidrogênio ou metano e ainda operar os sistemas distritais de

aquecimento, levando calor até as casas. Em alguns casos, como grandes ônibus, navios e caminhões, é possível utilizar células de combustível movidas a hidrogênio ou metano.

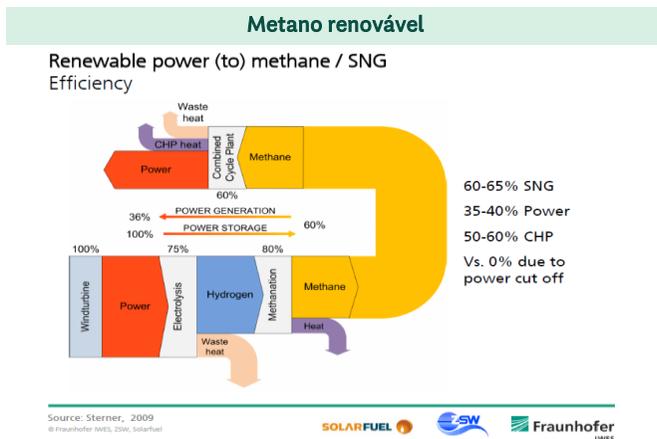


Figura 60: **Metano renovável**. Fonte: M. Sterner, IRES 2009)

O hidrogênio não é a primeira alternativa quando se trata de fontes de energia, mas ele pode desempenhar um papel importante no futuro. É preciso adotar soluções mais fáceis, como carros elétricos e bombas de calor para aquecimento das casas, antes de recorrer ao hidrogênio.

No entanto, ele pode ser o elo que falta entre os sistemas elétrico e a gás, fornecendo eletricidade para muitas indústrias e processos. O hidrogênio tem um grande potencial, mas também tem um impacto negativo que precisa ser discutido.

É importante entender as limitações e ineficiências do hidrogênio verde, como uma alternativa para a transição energética. Quando produzimos hidrogênio a partir de energia eólica, por exemplo, temos uma eficiência de cerca de 75%, pois há perda de calor residual no processo. Se quisermos produzir metano a partir do hidrogênio, há ainda mais perdas de calor.

Apesar disso, é possível armazenar o hidrogênio e utilizá-lo posteriormente para gerar eletricidade, ou transformá-lo novamente em metano ou hidrogênio para uso em células de combustível.

Mas, esse processo de armazenamento e conversão de volta em energia, terá apenas uma eficiência energética de 35 a 40%. Isso significa, que mais da metade da energia gerada a partir de fontes renováveis, será perdida nesse processo.

Por isso, é importante ter em mente que o hidrogênio verde é uma solução complementar, e não deve ser visto como a única solução para todos os problemas energéticos.

No contexto da transição energética, é importante pensar em soluções que promovam um equilíbrio sustentável no longo prazo. Por exemplo, quando carregamos a bateria de um carro elétrico com energia gerada por fontes renováveis, como eólica ou solar, estamos contribuindo para um uso mais consciente da energia.

Isso pode não ser suficiente em situações em que há um déficit de geração de energia, como em dias com pouco sol e vento. Nesses casos, o hidrogênio verde pode ser uma ótima opção para armazenar energia.

### Formas de alcançar o fornecimento 100% renovável de eletricidade

O armazenamento (e, portanto, o HIDROGÊNIO) é um dos pilares para a TRANSIÇÃO ENERGÉTICA!

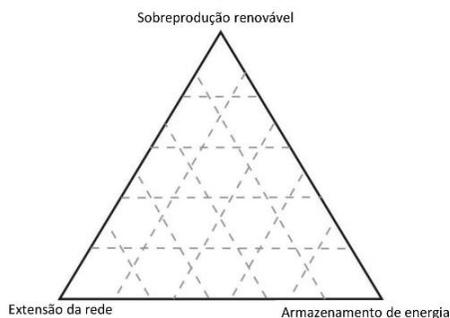


Figura 61: 100% renovável de eletricidade.  
Fonte: M. Sterner, IRES 2009)

Quando falamos sobre os três pilares da transição energética, destacamos os seus nomes, mostrando o tripé (triângulo).

O primeiro pilar é a geração de energia renovável, que é o primeiro passo para enfrentar os problemas da transição energética.

Depois, é necessário armazenar o excesso de energia gerada. Existem duas opções principais: hidrogênio ou baterias.

Porém, não há uma única solução perfeita para o armazenamento de energia. Para que esse sistema seja viável economicamente, seria necessário que houvesse dias com excelente sol, ventos e hidrelétricas.

Mas esses dias não são frequentes, e a instalação não estaria em operação na maior parte do tempo.

É necessário que as soluções sejam realmente viáveis economicamente para serem implementadas em grande escala. O importante é continuar pesquisando e investindo em tecnologias que permitam uma transição energética sustentável e eficiente.

Quando estivermos na transição energética de fato, teremos que olhar para os outros dois pilares.

No contexto da transição energética, é importante considerarmos a produção de energia renovável em quantidade maior do que a necessária. Esse conceito pode parecer estranha se pensarmos na “mentalidade antiga”, em que não se utilizava toda a energia produzida e isso significava desperdício.

**Às vezes, produzir mais eletricidade renovável é mais barato do que armazenar todos os KWH produzidos. Então, a superprodução também é um pilar.**



Figura 62: *superprodução também é um pilar.* Fonte: Notas de aulas, 2023.

Porém, em um sistema renovável, produzir mais energia do que a demanda atual, pode ser vantajosa economicamente.

Diferente das usinas elétricas movidas a combustíveis fósseis, que geram custos de gás natural ou termoelétricas, quando não estão sendo utilizadas, os sistemas fotovoltaicos e eólicos não precisam de combustível para operar.

Por isso, produzir mais energia renovável, em períodos de superprodução, pode ser uma solução mais econômica do que armazenar toda essa energia em baterias ou hidrogênio.

Além disso, essa superprodução pode ser utilizada para atender necessidades posteriores, sem a necessidade de investir em sistemas de armazenamento que serão pouco utilizados ao longo do ano. Dessa forma, é possível ter uma capacidade de geração maior do que a necessária com uma quantidade mínima de armazenamento de energia, o que pode ser uma boa estratégia para a transição energética.

O terceiro pilar da transição energética é a expansão das redes de alta tensão. No Brasil, já temos uma rede de corrente contínua desde a usina hidrelétrica de Itaipu, o que foi um avanço significativo. Entretanto, a China agora está liderando a criação dessas redes de alta tensão de corrente contínua que também cobrem a Europa e a África do Norte.

A ideia é equilibrar a demanda e a capacidade de geração, aproveitando as diferentes condições climáticas em diferentes áreas.

Por exemplo, a África do Norte tem um bom potencial de energia solar, enquanto a Escandinávia e a Rússia têm ventos muito bons, mas não o ano todo.

#### Grandes redes HVDC Interconectadas: corrente contínua em alta tensão

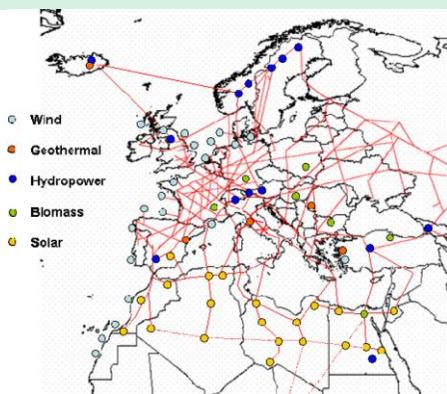


Figura 63: Conceito de grandes redes HVDC Interconectadas. Fonte: DLR

Com essas redes, podemos cobrir uma área maior, atendendo à demanda e à capacidade de geração. O Brasil, por sua vez, é quase tão grande quanto toda a Europa e tem uma rede interconectada que abrange todo o país.

No entanto, ainda precisamos expandir essa rede para atender a todas as necessidades. Principalmente para atender a demanda de grandes centros consumidores, como São Paulo e Rio de Janeiro. Esses estão longe dos principais recursos eólicos do país, localizados no Nordeste.

Quando falamos de transição energética e utilização de fontes renováveis, uma rede elétrica robusta é essencial para transportar a energia gerada, de um local para outro. Porém, ela não é capaz de resolver todos os problemas.

Uma rede eficiente pode ser útil para transportar energia de um ponto gerador para um ponto consumidor. Mas isso, não pode resolver o problema da produção, em tempos diferentes das necessidades energéticas. Ou seja, ela ajuda no espaço, mas não no tempo.

Por isso, precisamos buscar outras soluções para equilibrar a produção e o consumo de energia, como o armazenamento de energia.

Uma rede transmissão robusta pode ajudar nesse sentido, já que com uma rede eficiente é possível reduzir a necessidade de centros de armazenamento de energia.

Dessa forma, uma rede elétrica de qualidade, pode ser um elemento importante para a transição energética para fontes renováveis. Mas, precisamos considerar outras soluções para garantir que a produção de energia ocorra de forma eficiente e sustentável.

Podemos pensar em um triângulo, com três pilares importantes: armazenamento, expansão da rede de transmissão e superprodução de renováveis.

O primeiro pilar é o armazenamento, e refere-se à capacidade de armazenar a energia gerada a partir das fontes renováveis em períodos de baixa demanda. O hidrogênio verde pode ser uma forma de armazenamento de energia, pois pode ser produzido a partir da eletrólise da água utilizando a energia elétrica excedente gerada pelas fontes renováveis.

O segundo pilar é a expansão da rede de transmissão. Refere-se à criação de redes de alta tensão, que possam interligar diferentes regiões

e países. Isso permitiria que a energia gerada em uma região possa ser distribuída para outras regiões que necessitem.

O terceiro pilar é a produção de energia renovável em quantidades maiores do que a demanda atual. O objetivo é possibilidade de utilização dessa energia excedente em períodos de alta demanda ou para a produção de hidrogênio verde.

Assim, temos os três pilares para um fornecimento de energia 100% com energia renovável.

Ao utilizar esses três pilares, podemos criar um sistema mais sustentável e resiliente, reduzindo a dependência de fontes de energia fósseis e promovendo a transição para um futuro energético mais limpo e seguro.



- Primeiro pilar: ARMAZENAMENTO
- Segundo pilar: REDES DE TRANSMISSÃO
- Terceiro pilar: SUPERPRODUÇÃO POR RENOVÁVEIS

Figura 64: Pilares para energia 100% renovável.  
Fonte: Notas de aulas, 2023.

O ponto ideal para o sistema, seria aquele em que a energia produzida tenha custo-efetivo, e não gere aquecimento excessivo. Esse ponto pode ser alcançado, por meio do armazenamento de energia, da superprodução de renováveis e da expansão inteligente da rede.

Com essas soluções, conseguimos superar os desafios do sistema e atingir um equilíbrio, entre geração, custo e eficiência.

**Formas de alcançar o fornecimento 100% renovável de eletricidade: o hidrogênio é uma parte da solução**

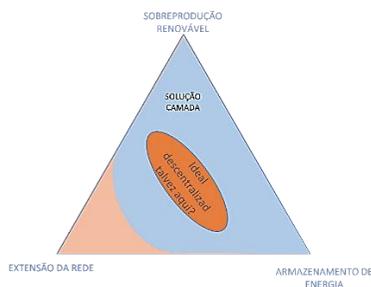


Figura 65: Fonte: Notas de aulas, 2023.

Embora, muitos dos problemas técnicos da fase de transição já tenham sido resolvidos, o maior obstáculo são os conflitos de interesses. A transição energética enfrenta resistência daqueles que ainda lucram com combustíveis fósseis, assim como da indústria automotiva, que ainda utiliza motores a combustão.

No entanto, é importante destacar que a transição não significa construir um sistema completamente novo do zero. A infraestrutura atual pode ser adaptada para a utilização do hidrogênio como armazenamento de energia.

No Brasil, a matriz energética já é majoritariamente renovável. Mas, ainda é necessário investir em geração renovável para armazenamento de hidrogênio e possíveis aplicações do hidrogênio.

A transição energética europeia é um processo importante e interessante de se acompanhar. Uma das fontes de energia renovável mais utilizadas é a energia eólica. Só na Alemanha, já foram instalados 56 mil MW de capacidade para geração de energia eólica. No entanto, a Europa enfrenta desafios em relação à densidade populacional, já que muitas pessoas não querem as turbinas eólicas instaladas perto de suas residências.

### Transição Energética na Europa: energia eólica



Figura 66: energia eólica. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Uma alternativa para a geração de energia eólica são as fazendas eólicas *offshore*, localizadas no mar. Essas fazendas geram um pouco menos de energia, cerca de 7.800 MW, mas possuem a vantagem de não estarem próximas a áreas residenciais. Além disso, o vento no mar é

mais forte e constante, o que diminui a necessidade de armazenamento de energia.

O Reino Unido e as ilhas britânicas possuem muitas dessas fazendas eólicas *offshore*, devido aos ventos fortes e a grande extensão de costa disponível.

Outra fonte de energia renovável com grande capacidade de geração é a fotovoltaica, ou seja, a energia solar. No Brasil, assim como na Europa, a energia solar é uma alternativa viável para a transição energética. Na Alemanha, por exemplo, a capacidade instalada de fotovoltaicos já atinge 59.000 MW.

A instalação de grandes sistemas fotovoltaicos tem um alto custo. Mas, a criação de sistemas menores, tornou-se um bom investimento (custo-benefício). Tanto que há uma competição em áreas rurais, entre atividade agrícolas e geração de energia. Mas é viável usar essas áreas rurais, com baixa densidade populacional, tanto para atividade agrícola, quanto para geração de energia.

Por isso, muitos alemães optam por instalar painéis solares em suas próprias casas ou fazendas, mesmo que isso custe mais caro do que instalar no solo. É uma solução para gerar energia sem necessidade de ocupar grandes áreas do solo, usado para produção agrícola.

Atualmente, existem projetos pilotos e demonstrativos em andamento na Alemanha, que visam testar a produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis.

### Transição Energética na Europa: energia fotovoltaica

Photovoltaics ( 59,000 MW)



Figura 67: **energia fotovoltaica**. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Além disso, quem opta por instalar painéis solares em casa, tem a vantagem de não precisar mais pagar impostos, que seriam cobrados ao consumir energia da rede pública. Essa é uma forma de incentivar a adoção de fontes de energia renovável e contribuir para a transição energética rumo a um futuro mais sustentável.

Os sistemas de biogás são uma importante fonte de energia renovável. Na foto a seguir, podemos ver um sistema grande, mas existem sistemas menores em fazendas menores, que funcionam de forma semelhante.

Até mesmo os estábulos já estão utilizando células fotovoltaicas no telhado. Na Europa temos problema de densidade, ou seja, todos os lugares são oportunidade para geração de energia. O biogás é produzido a partir dos dejetos de porcos e gado.

Por exemplo, ele é armazenado em containers, onde temos sistemas de motores que combinam energia e calor. Isso gera energia, que pode ser vendida às concessionárias de energia do sistema público, contribuindo para a transição energética.

### Transição Energética na Europa: biogás



Figura 68: biogás na Europa. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Na imagem a seguir, vemos uma instalação experimental de eletrolisadores de 10MW para a produção de hidrogênio.

## Transição Energética na Europa: hidrogênio

First 10 MW electrolyzers and home hydrogen system



Figura 69: hidrogênio na Europa. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Além disso, outras empresas estão buscando construir sistemas mais compactos, como mostra a imagem da direita (acima). Ela contém um eletrolisador, células de combustível e cilindros para estocar o hidrogênio produzido.

Embora, haja muitas *startups* e ideias sobre como aproveitar o hidrogênio comercialmente, ainda estamos num estágio inicial desse processo. No entanto, há empresas pequenas na Europa buscando se estabelecer na economia de hidrogênio.

É um excelente mercado também para o Brasil!

Ainda há muito a ser feito para tornar o hidrogênio verde uma alternativa viável e eficiente. É o momento de se preparar e estar pronto para a transição energética do mundo, que é inevitável!

### 3. Hidrogênio: sua história, produção e aplicação no Brasil

O hidrogênio pode ser uma parte importante de uma estratégia de mitigação de mudanças climáticas. Precisamos de diversas soluções para lidar com essa questão, onde é necessário a descarbonização.

No entanto, é importante lembrar que a tecnologia de hidrogênio ainda está em desenvolvimento e não é amplamente comercializada. Há muitas pesquisas sendo realizadas em todo o mundo para melhorar a eficiência da produção e reduzir os custos.

No Brasil, a situação é semelhante. Ainda estamos em um estágio inicial do desenvolvimento do hidrogênio verde e há muitas oportunidades para avançar nessa área.

No mundo atual, muitas pessoas estão falando sobre a importância do hidrogênio na transição energética.

Já nos anos 1980, o cientista americano Jeremy Rifkin escreveu sobre uma economia baseada em hidrogênio. Ele já conhecia algumas fontes renováveis que poderiam ser utilizadas para produzir hidrogênio. Mas, naquela época, a tecnologia ainda não estava desenvolvida suficiente para uma implementação estruturada.

Portanto, podemos dizer que a ideia de uma economia de hidrogênio não é nova e que já foi estudada há algumas décadas.

É fundamental observarmos as experiências já existentes no campo do hidrogênio. Podemos aproveitar muitas delas!

### Uma economia baseada em hidrogênio

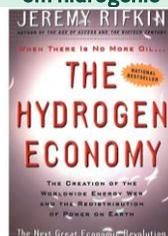


Figura 70: Primeiro livro sobre Hidrogênio. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Na indústria química e refinarias, por exemplo, já são utilizados 500 bilhões de metros cúbicos de hidrogênio por ano. Podemos mostrar grandes estações e postos de abastecimento de hidrogênio, bem como experiências com infraestrutura de gás utilizando hidrogênio.

Existem estruturas construídas para pegar o gás dos coqueiros para consumo local, e esse gás contém mais de 50% de hidrogênio. Além disso, é comum a indústria química ter tubulações de transporte de gás, às vezes com até 150 km de extensão, apenas com hidrogênio.

No final dos anos 1990, o hidrogênio teve sua primeira onda de popularidade. Foram criados projetos e o que vemos na imagem abaixo, é o primeiro posto de abastecimento de gás, que foi construído em 1999. Usaram o design do modelo da BMW 7 para usar com esse tipo de combustível.

## Hidrogênio na indústria química



Figura 71: Hidrogênio na indústria química. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Naquela época, muita pesquisa foi feita, especialmente na área de células de combustível, mas menos em eletrolisadores.

Essa experiência pode ser muito útil para o desenvolvimento do hidrogênio verde. A indústria química e refinarias já utilizam hidrogênio como matéria-prima e combustível. Isso demonstra que o hidrogênio tem potencial como fonte de energia.

## Hidrogênio na contribuição para a descarbonização



Figura 72: Hidrogênio para a contribuição na descarbonização  
Fonte: Notas de aulas, 2023.

## Então, por que o hidrogênio?

H<sub>2</sub> é um combustível versátil, que pode ser aplicado em diversos setores. Conforme veremos nos próximos livros, ele possui habilidades no transporte, indústria e geração de eletricidade.

### O hidrogênio tem grande potencial de armazenamento.

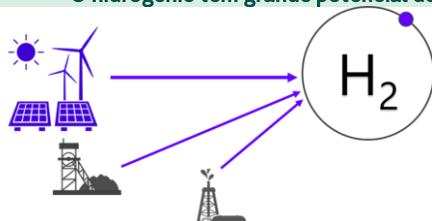


Figura 73: O hidrogênio tem grande potencial de armazenamento. Fonte: Notas de aulas, 2023.

É importante destacar que o hidrogênio também possui efeitos positivos em outras áreas, como na mobilidade, onde a sua utilização reduz as emissões de poluentes.

### A produção de hidrogênio pode ser "verde" com energia renovável, mas atualmente é predominantemente "cinza"

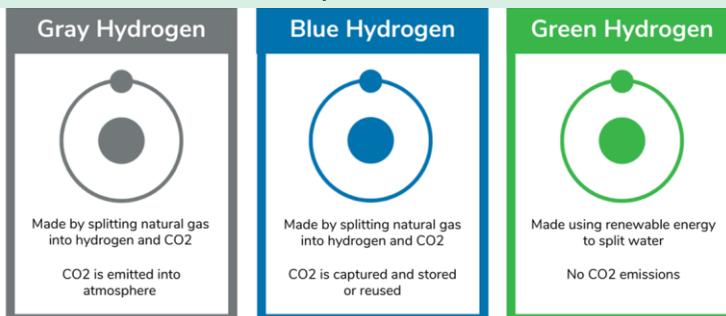


Figura 74: Cores do hidrogênio. Fonte: Fernandes, M. D. (2021)

Atualmente, a maioria do hidrogênio, produzido mundialmente (95%), é o hidrogênio cinza, obtido a partir do gás natural. Nesse processo o hidrogênio é gerado, mas também é emitido CO<sub>2</sub>.

O hidrogênio azul é produzido a partir do gás natural, mas, em vez de liberar o CO<sub>2</sub>, ele é armazenado. O hidrogênio verde é produzido por meio de energias renováveis, como a solar e a eólica, e não emite CO<sub>2</sub>. É possível obter o hidrogênio de diferentes formas, variando em pureza e qualidade.

O hidrogênio é uma fonte de energia muito versátil, capaz de ser utilizada em diversos setores. Ele pode ser utilizado como combustível, em processos de combustão, turbinas a gás e queimadores industriais. Mas, também pode ser utilizado em células de combustível.

Existem várias maneiras de gerar hidrogênio, mas a mais comum é através de combustíveis fósseis, que são quebrados em  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$  por um processo chamado reformação a vapor. No entanto, se o  $\text{CO}_2$  não for capturado, o hidrogênio produzido terá uma grande quantidade de carbono.

**Hidrogênio é um portador de energia, que pode ser queimado ou convertido em eletricidade.**

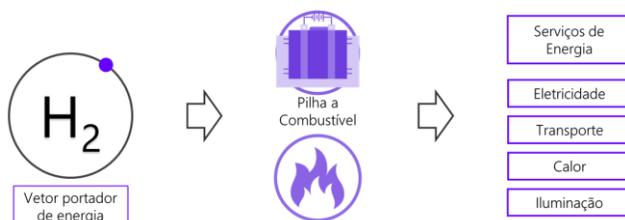


Figura 75: Hidrogênio pode ser queimado ou convertido em eletricidade.

Fonte: Fernandes, M. D. (2021)

Outra opção, é a partir da biomassa, por meio de fermentação e digestão anaeróbia em caldeiras, gerando  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}$ . Uma alternativa mais sustentável é utilizar fontes renováveis, como a energia eólica ou solar, para alimentar um eletrolisador que produz hidrogênio.

**O caminho do hidrogênio, da fonte ao uso.**

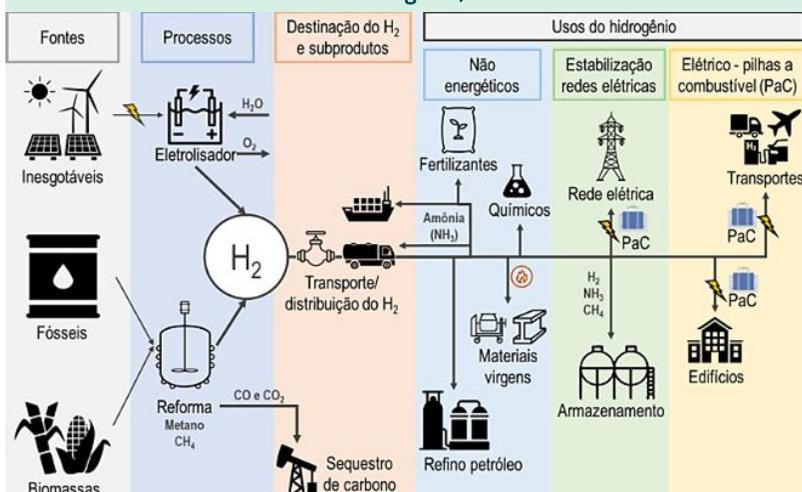


Figura 76: O hidrogênio, da fonte ao uso. Fonte: Fernandes, M. D. (2021)

Na segunda parte da cadeia de valor, o hidrogênio é utilizado em diversas indústrias, como refinarias de petróleo, indústrias químicas, cimento e siderurgia. Ele pode ser utilizado para produzir amônia, que é um excelente transportador de energia e pode ser usado em navios e na produção de fertilizantes.

Também é possível armazenar hidrogênio em tanques e gasodutos e utilizá-lo para produzir eletricidade por meio de células de combustível ou turbinas a gás. Em prédios e residências, o hidrogênio pode ser usado para gerar calor e energia. Além disso, as células de combustível movidas a hidrogênio podem ser utilizadas em meios de transporte.

No entanto, ainda há muita competição entre as soluções, então é importante considerar o custo de utilização do hidrogênio. No momento, ainda não há hidrogênio verde suficiente para atender a todas as necessidades. Mas o desenvolvimento de tecnologias mais inovadoras, pode ajudar a expandir o uso dessa fonte de energia limpa.

Em resumo, o hidrogênio verde é uma opção promissora e cada vez mais relevante para a transição energética. Mas, sua utilização deve ser avaliada de acordo com as demandas e condições específicas de cada região.

A principal oferta de hidrogênio é predominantemente de combustíveis fósseis (gás natural ou carvão).

Mas também, energia nuclear e energia renovável (solar, biomassa, eólica ou hidrelétrica) podem ser usadas para produzir H<sub>2</sub>.

A demanda de hidrogênio vem predominantemente de processos industriais (refino de gasolina e produção de fertilizantes).

Também pode ser utilizado para geração de eletricidade, para o setor de transporte e para aquecimento industrial, comercial e residencial.

Existem vários tipos de células de combustível disponíveis no mercado, cada um com suas vantagens e desvantagens. Por exemplo, as células de combustível de óxido sólido (SOFC) são ideais para aplicações em larga escala, como a geração de energia elétrica em centrais elétricas, pois são altamente eficientes e operam em altas temperaturas.

## Quais são as fontes de energia do hidrogênio e suas aplicações



Figura 77: fontes de energia do hidrogênio e suas aplicações. Fonte: Visual Capitalist (2020)

Já para aplicações de mobilidade, como em veículos elétricos, as células de combustível que usam membranas de polímero (PEMFC) são uma boa opção. Elas são leves e compactas, o que as torna adequadas para uso em carros e outros veículos.

Outra vantagem das células de combustível, é que elas não emitem poluentes, pois a única substância produzida durante a sua operação é água. Isso faz com que as células de combustível sejam uma alternativa promissora para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Isso, além de mitigar os impactos ambientais causados pela queima desses combustíveis.

Ao olharmos para a tecnologia de células de combustível, podemos entender como ela funciona. Basicamente, temos uma célula de combustível com anodo, onde o hidrogênio entra, e catodo, onde o oxigênio entra para produzir eletricidade e água.

Na imagem a seguir, podemos ver que o oxigênio vem do próprio ar, mas pode ser necessário filtrar o ar para evitar a entrada de outros gases que possam contaminar o processo.

O hidrogênio está entrando à esquerda e o catalisador, que é dividido em prótons e elétrons, combina com o oxigênio do outro lado. Observamos que os prótons se deslocam para a direita, combinam com o oxigênio e geram vapor de água, que é eliminado.

### Células de combustível convertem hidrogênio em eletricidade

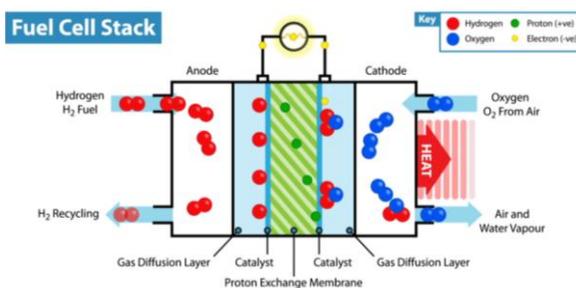


Figura 78: Células de combustível. Fonte: Fernandes, M. D. (2021)

O que é produzido é eletricidade, a partir desse fluxo de elétrons, além de calor, dependendo da carga. É importante ressaltar que nem todo o hidrogênio é utilizado nesse processo, sendo necessário reintroduzi-lo no ciclo.

Porém, esse processo não é fácil. O catalisador utilizado nas células de combustível contém materiais caros, como o paládio, e possui uma membrana muito sensível à extensão, pressão e tensões.

Além disso, ela pode ser contaminada por outros gases e gotas de água presentes no ar ambiente. É necessário, portanto, muito cuidado e aprimoramento do processo.

É possível observar várias células pequenas reunidas formando um sistema grande.

## Células de combustível: APLICAÇÃO INDUSTRIAL E MOBILIDADE

*The BloomBox, Bloom Energy*



*Empilhadeira, Toyota*



*Figura 79: Fonte: Aplicação industrial e mobilidade.  
Notas de aulas, 2023.*

Também existem sistemas menores, como o da Panasonic. Ele é um sistema doméstico, que pode produzir eletricidade e calor para uso residencial.

## Células de combustível: APLICAÇÃO RESIDENCIAL



*Ene Farm, Panasonic*

*Figura 80: Aplicação residencial. Fonte: Notas de aulas, 2023.*

As células de combustível têm aplicação em carros e caminhões, como o caminhão Nikola ou o Toyota Mirai.

## Células de combustível: APLICAÇÃO EM TRANSPORTE

*Nikola Truck*



*Toyota Mirai*



*Figura 81: aplicação em transporte. Fonte: Notas de aulas, 2023.*

Muitos dos projetos em andamento são subsidiados, ou seja, financiados por governos e outras entidades. Ainda assim, há uma iniciativa em andamento para utilizar células de combustível em aviões, utilizando tanques de hidrogênio para girar os motores elétricos.

### Células de combustível: APLICAÇÃO EM TRANSPORTE

*ZeroAvia plane*



*Figura 82: Aplicação em transporte. Fonte: Notas de aulas, 2023.*

Apesar de ainda haver desafios a serem enfrentados, a corrida para a utilização de células de combustível em mobilidade e outras áreas já começou.

A tendência é que, com o tempo, a tecnologia se torne mais acessível e amplamente utilizada, contribuindo para a transição para um modelo energético mais sustentável.

Para entendermos, por que o armazenamento de energia por hidrogênio pode ser uma solução, precisamos olhar para a capacidade dos diferentes sistemas de armazenamento de energia ao longo do tempo e com tempo de descarga.

Como podemos ver no diagrama abaixo, o hidrogênio e o metano são os sistemas que oferecem as melhores capacidades de armazenamento.

**Armazenamento de energia:**  
Hidrogênio tem um alto tempo de descarga e **capacidade** de armazenamento

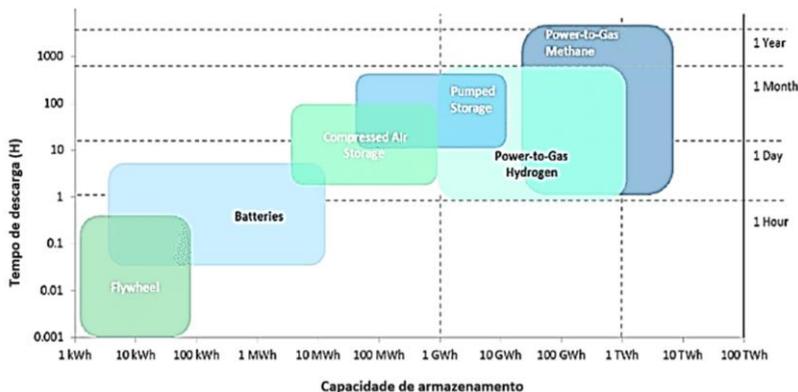


Figura 83: Armazenamento de energia. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Esse fato é um dos motivadores para a utilização do hidrogênio no sistema energético alemão. Esse esquema é conhecido como "power-to-gas". Ele permite converter energia elétrica em hidrogênio gasoso para armazenamento. O hidrogênio, nesse caso, é utilizado como fonte de energia, ajudando a tornar o sistema energético mais sustentável.

Desde 2015, diversos países começaram a estabelecer estratégias para o uso do hidrogênio como armazenamento de energia limpa. Isso se intensificou após a Conferência das Partes da ONU sobre mudanças climáticas de 2015, a COP21 em Paris, quando o hidrogênio foi declarado um gás de descarbonização.

Vários países europeus, incluindo a Alemanha, elaboraram estratégias nessa área, enquanto outros, como o Brasil, implementaram projetos pilotos e demonstrativos.

Em outras partes do mundo, o tema começa a ser discutido e avaliado. No entanto, é importante mencionar que essas estratégias podem ser influenciadas por eventos geopolíticos, como a guerra na Ucrânia. Esse tipo de conflito pode afetar o mercado internacional de hidrogênio.

### Atividades de hidrogênio e governos nacionais: Aumento das atividades globais desde a COP 21 em Paris

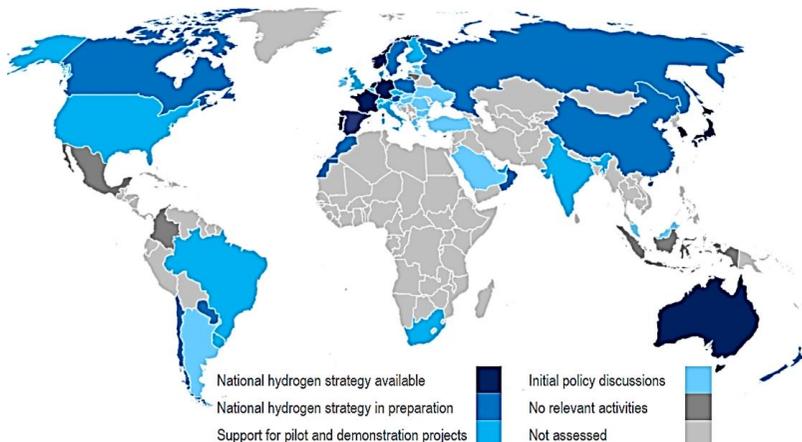


Figura 84: hidrogênio e governos nacionais. Fonte: Notas de aulas, 2023.

Mas ainda há incertezas sobre o futuro desse mercado. Quem é que vai precisar mais, e quanto.

O mercado de hidrogênio ainda é bastante incerto, e isso pode ser visto em estudos feitos na Alemanha projetando para 2050.

### Perspectiva de importador da Europa: A demanda de H<sub>2</sub> Alemanha em 2050

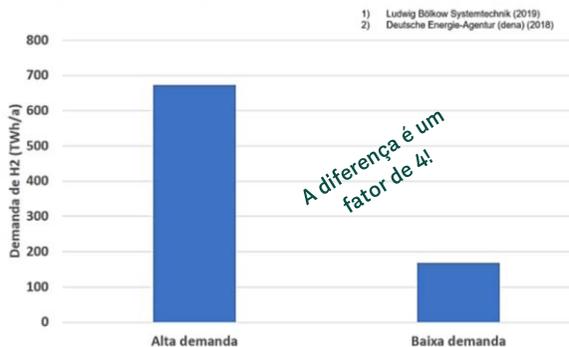


Figura 85: A demanda de H<sub>2</sub> Alemanha em 2050.

Fonte: Notas de aulas, 2023.

Alguns estudos projetam uma demanda muito alta, enquanto outros mostram uma demanda muito baixa. Os especialistas usaram diferentes métodos de cálculo, e isso resultou em previsões diferentes com um fator de quatro vezes quando se tenta projetar o tamanho do mercado para 2050. Essas previsões são influenciadas por diversos fatores, como a disponibilidade de gás natural, desenvolvimento de tecnologias, preços e metas climáticas.

Enquanto o mundo tem, em média, 84% de energia primária gerada por fontes fósseis, o Brasil tem 43% do seu mix energético gerado por fontes renováveis.

### Emissões setoriais de CO<sub>2</sub> - Mundo x Brasil:

As principais emissões de CO<sub>2</sub> do Brasil vêm da agricultura e do uso da terra, não da energia

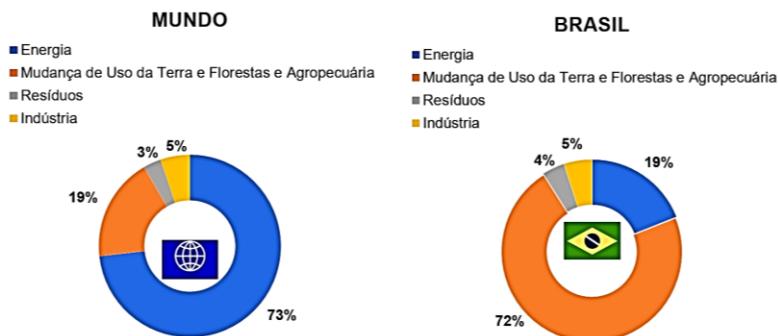


Figura 86: Emissões setoriais de CO<sub>2</sub> - Mundo x Brasil. Fonte: epe.gov.br (2021), IEA (2021)

Observando o gráfico acima, podemos perceber que o mix energético do Brasil é diferente do restante do mundo. Enquanto no mundo a energia é responsável por 73% das emissões de CO<sub>2</sub>, e 19% vêm do desmatamento e uso do solo, no Brasil a maior parte das emissões vem da agricultura, cerca de 70%, e apenas 19% vêm da geração de energia elétrica.

Nos setores da indústria e resíduos, o peso das emissões é mais ou menos o mesmo no Brasil e no mundo. Isso mostra que, no Brasil, a produção de energia limpa é uma oportunidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Principalmente através do uso de fontes renováveis como a solar, eólica e o hidrogênio verde, que pode ser uma alternativa para armazenamento de energia.

No gráfico a seguir, podemos observar as diferentes contribuições das emissões de gases de efeito estufa no Brasil ao longo das décadas. Destacamos que a barra verde que corresponde ao desmatamento e queimadas de florestas tem diminuído, mas voltou a aumentar em 2019. Além disso, há outras emissões provenientes da agricultura, principalmente de metano gerado por esterco e dejetos de animais.

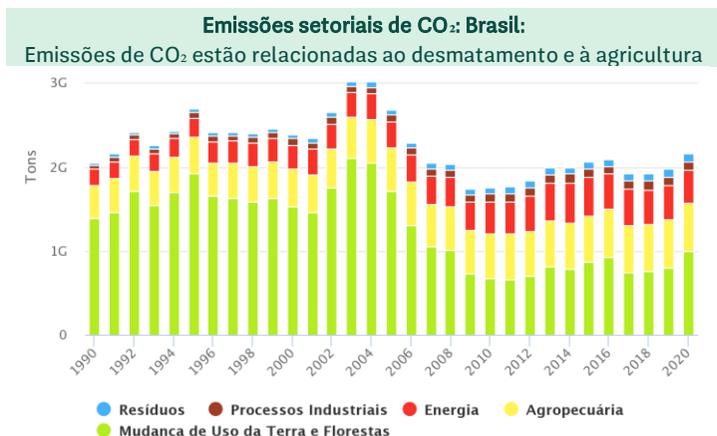


Figura 87: Emissões setoriais de CO<sub>2</sub> no Brasil.  
Fonte: [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission)

O setor de energia elétrica e transporte apresentam uma participação menor, enquanto a indústria e os resíduos têm se mantido estáveis ao longo dos anos.

Para reduzir as emissões de GEE no Brasil, é necessário focar nas fontes mais relevantes de emissão, como o desmatamento e as emissões da agricultura. Além disso, é fundamental incentivar a transição para fontes de energia limpa e renovável. Isso pode ser utilizado em setores como o transporte e a indústria, reduzindo significativamente as emissões de GEE.

No gráfico a seguir, podemos observar que o metano é responsável por 1/4 das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Esse gás é produzido a partir dos resíduos e esterco dos animais.

É importante destacar que, devido ao desmatamento, o Brasil aumentou suas emissões de gases de efeito estufa durante a pandemia da COVID-19.



Figura 88: Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.  
Fonte: epe.gov.br (2021), IEA (2021)

Isso não aconteceu em outros países, que conseguiram uma redução nas emissões. Isso se deve em parte à queda na demanda de energia pelas indústrias.

Podemos observar nos gráficos seguintes, que enquanto o mundo tem apenas 14% de fontes renováveis e 3/4 de combustíveis fósseis, o Brasil apresenta uma participação de 46% de renováveis. Isso é muito positivo: a presença menor de combustíveis fósseis, representando menos de 50%. Essa diferença é um bom ponto de partida para uma transição energética sustentável.

## Comparação de Matriz Energética

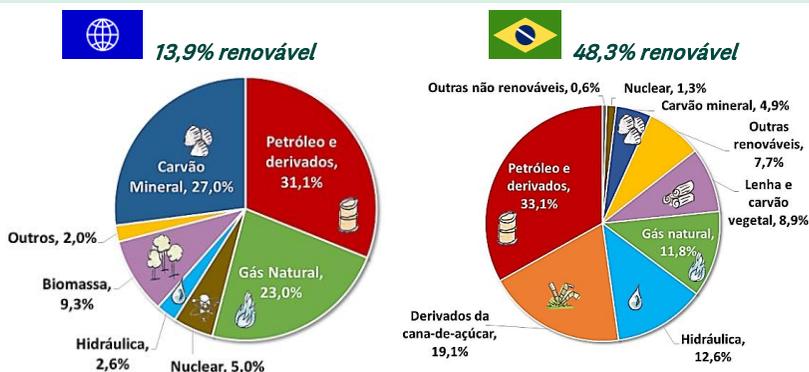


Figura 89: Comparação de Matriz Energética. Fonte: epe.gov.br (2021), IEA (2021)

A seguir, podemos observar uma comparação da eletricidade gerada.

No mundo, apenas 27% da eletricidade gerada é proveniente de fontes renováveis, enquanto no Brasil, esse número sobe para 46%. Além disso, o Brasil tem uma grande participação de energia hidráulica, biomassa, energia solar e eólica. Isso representa um mix de energias mais renovável do que a média mundial.

## Comparação de Eletricidade Gerada



Figura 90: Comparação de Eletricidade Gerada. Fonte: epe.gov.br (2021), IEA (2021)

Olhando especificamente para a geração de eletricidade no Brasil, é possível expandir ainda mais essas fontes renováveis, substituindo as fontes fósseis e aumentando a participação da energia nuclear e hidráulica.

De acordo com estudos, o país aumentará significativamente o uso de fontes para geração de hidrogênio verde. Isso representa uma grande oportunidade. A demanda por energia elétrica está em constante crescimento no Brasil, em especial com a expansão da mobilidade e o uso do hidrogênio em diversos setores.

Há um descompasso entre a narrativa do uso de hidrogênio para descarbonização de sistemas de energia no Brasil.

Quando se trata de lidar com as mudanças climáticas no país, precisamos abordar questões como o desmatamento, a conservação das florestas, a agricultura sustentável e o uso adequado do solo.



Hidrogênio não substitui outras medidas de redução de emissões de GEE, como a conservação ambiental e o uso de energias renováveis. Portanto, é necessário adotar uma abordagem holística e integrada para abordar as mudanças climáticas. O propósito é promover a transição para uma economia mais sustentável no Brasil.

O país possui um grande potencial energético e está bem encaminhado para se tornar um grande produtor de hidrogênio verde para o mundo. Isso se dá em parte pela alta produção de fontes renováveis, que já chega a 50% no mix geral e a mais de 80% no mix de eletricidade.

Além das emissões relacionadas ao desmatamento, agricultura e uso do solo, há também problemas ligados às emissões de metano a partir dos dejetos de animais, que demandam soluções.



**A alta produção de energia renovável favorece a produção de hidrogênio "verde" e faz do Brasil um produtor desejável de hidrogênio "verde" para o mundo.**

A evolução do hidrogênio no Brasil começou de maneira semelhante ao processo na Alemanha, no início dos anos 2000. Naquela época, o hidrogênio era visto como uma maneira de prover segurança energética. Após a crise do petróleo nos anos 1970, nos anos 2000, Brasil passou por problemas de escassez hídrica das hidrelétricas, o famoso “apagão”. A partir disso surgiu urgência para buscar alternativas às energias provenientes de fontes hidrelétricas, além de outras fontes renováveis.

Essa foi a primeira onda de projetos de hidrogênio no Brasil. Mas, foi momentâneo.

### A camada de pré-sal

ESTUDOPRATICO.com.br

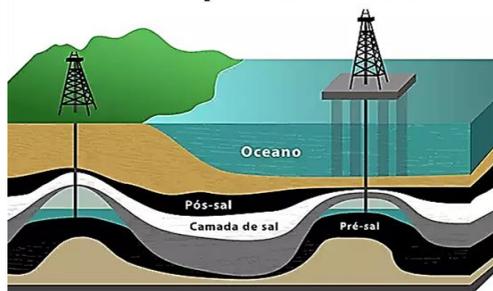


Figura 91: Fonte: Notas de aulas, 2023.

Políticas públicas brasileiras de incentivo ao desenvolvimento de hidrogênio foram afetadas nos anos 2000 após a descoberta de petróleo em camadas do pré-sal na costa brasileira (explorada a partir de 2008).

Assim como em outros países, o preço, escassez ou abundância de petróleo, influencia o interesse no desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio e células de combustível no Brasil. Podemos observar a importância do petróleo no Brasil e sua relação com o hidrogênio. A Petrobras lidera o mundo em perfuração em águas profundas, o que impulsionou a exploração de petróleo no país.

No entanto, essas jazidas de petróleo podem ser usadas não apenas para produzir combustíveis fósseis, mas também para armazenar CO<sub>2</sub>. Esses depósitos são conhecidos como armazenamento de carbono, e são utilizados em vários países, incluindo a Alemanha.

A exploração de petróleo não significa o fim da história do hidrogênio no Brasil. Vamos apresentar alguns projetos brasileiros focados no desenvolvimento de hidrogênio no país. Isso pode trazer uma ideia inovadora, tanto para o Brasil, quanto para outros países.

O LaMPaC (Laboratório de Materiais e Combustíveis para o Futuro) foi criado para desenvolver protótipos de células de combustível de óxido sólido.



O LAMPAC, laboratório da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em parceria com a companhia de energia elétrica CEMIG, foi responsável pelo desenvolvimento do primeiro protótipo funcional de células de combustível de óxido sólido (SOFC) no Brasil. O projeto começou em 2004 e apresentou em 2014 os dois primeiros SOFCs desenvolvidos nacionalmente.

O uso de hidrogênio em ônibus é uma aplicação promissora para a construção de uma infraestrutura necessária para essa fonte de energia. No Brasil foram desenvolvidos ônibus movidos a hidrogênio, utilizando o gás residual gerado a partir de indústrias químicas.

Abaixo, temos um ônibus híbrido movido a energia elétrica, obtida de bateria abastecida na rede, e complementada com energia produzida a bordo, por meio de pilha a combustível alimentada com hidrogênio.

É um veículo silencioso, com eficiência energética maior que a dos ônibus a diesel e com emissão zero de poluentes.



Com tecnologia 100% nacional, o veículo foi lançado durante a Rio+20, o evento promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2012, no Rio de Janeiro. Hoje, a empresa de transporte envolvida no projeto brasileiro, já conta com 50 ônibus movidos a hidrogênio em sua frota. Essa aplicação faz sentido para distâncias superiores a 200 km, pois as baterias não são suficientes para percorrer grandes distâncias sem a necessidade de recarregamento.

A Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) possui diversos projetos interessantes relacionados ao hidrogênio verde. Um desses

projetos é um reator químico patenteado, que produz hidrogênio a partir do etanol.

A tecnologia, patenteada com o apoio do Inova Unicamp, pode ser incorporada em veículos e acoplada a células de combustível para movimentar carros elétricos

O dispositivo em questão é um pequeno reator químico, capaz de transformar o etanol em hidrogênio por meio de um processo chamado reforma.



Esse método é um caminho tecnológico totalmente diferente dos utilizados na Europa e Alemanha. Isso porque o etanol não é uma fonte comum de produção de hidrogênio nesses locais. Na reforma do etanol, ele é aquecido a altas temperaturas em presença de um catalisador. Isso faz com que ele se decomponha em hidrogênio e dióxido de carbono.

O hidrogênio pode ser utilizado como fonte de energia limpa, enquanto o dióxido de carbono pode ser capturado e armazenado, evitando sua emissão na atmosfera. A produção de hidrogênio a partir do etanol apresenta diversas vantagens, como a disponibilidade e facilidade de obtenção dessa fonte de combustível em países como o Brasil.

Além disso, esse método é menos poluente que os combustíveis fósseis, uma vez que a queima do hidrogênio produz apenas água como subproduto. No entanto, ainda são necessários mais estudos para aprimorar a eficiência e viabilidade econômica desse processo.

O envolvimento das universidades e centros de pesquisa é fundamental para o desenvolvimento e manutenção do conhecimento sobre tecnologias de células de combustível. Isso, mesmo que a indústria ainda não esteja completamente envolvida.

No entanto, isso está mudando com o crescente interesse da indústria e as pesquisas que estão sendo desenvolvidas por ela, nesse campo.

Do ponto de vista educacional, é importante ensinar o uso do hidrogênio, suas aplicações na mobilidade e em outras áreas. Engenheiros treinados são essenciais para o desenvolvimento dessa tecnologia.

A economia do hidrogênio cria uma indústria totalmente nova, com diferentes jogadores estabelecidos e muitos novos entrando. É importante que todos estejam envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia para garantir um futuro mais limpo e sustentável.

Na América do Sul, houve um grande avanço em relação ao hidrogênio após a COP21 em 2015. Um exemplo disso é a Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH<sub>2</sub>), que foi criada para promover o desenvolvimento e o uso do hidrogênio como fonte de energia limpa e renovável no país.

### Aumento das atividades globais e nacionais



- Acordo de Paris em 2016: Primeira vez que o hidrogênio é parte integrada de um acordo climático global;
- Criação do ABH<sub>2</sub> em 2017;
- WHEC 2018 no Rio de Janeiro – Entusiasmo, mas também preocupação;

A América do Sul está incluindo hidrogênio em suas agendas. Em 2021, ao todo, 11 países da região publicaram ou estão preparando estratégias nacionais de hidrogênio e roteiros.

Além do Brasil, muitos outros países da região estão estabelecendo suas próprias estratégias para o uso do hidrogênio como fonte de energia. Isso mostra que a importância do hidrogênio verde está sendo reconhecida cada vez mais no mundo todo, e a América do Sul está se unindo a esse movimento global.

## Estratégias nacionais para o hidrogênio: Hidrogênio se torna um tópico inevitável

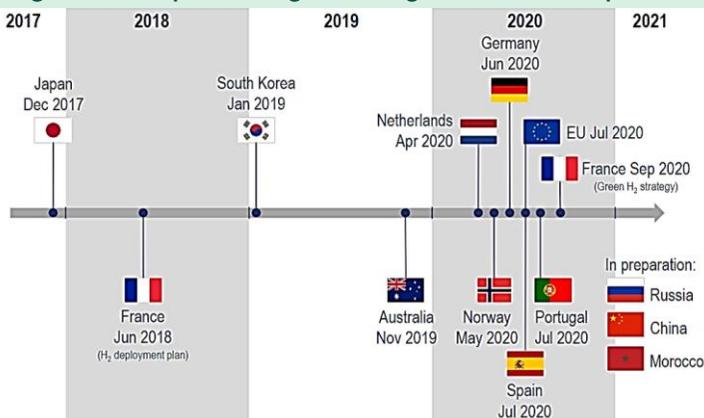


Figura 92: **Estratégias nacionais para o hidrogênio.** Fonte: National hydrogen strategies implemented by country (World Energy Council, 2020)

Tecnologias de hidrogênio estão sendo desenvolvidas por diferentes países ao redor do mundo. Na Alemanha, por exemplo, o governo iniciou em 2020 um forte financiamento para pesquisas na área. Na Europa, assim como no Brasil e outros países, o hidrogênio verde está ganhando destaque como uma alternativa para a segurança energética e redução de emissões de carbono.

Com o aumento do interesse e atividades na área, é importante compartilhar ideias e conhecimentos para o avanço do setor. Diversas conferências e associações, como a ABH<sub>2</sub>, têm surgido para discutir as estratégias e perspectivas de diferentes países e regiões em relação ao hidrogênio verde.

## Considerações Finais

Espera-se que este livro tenha fornecido uma introdução abrangente ao mundo do hidrogênio, com foco na "*Transição Energética para o Carbono Zero (Power-to-X)*". Durante esta exploração, foram abordados aspectos essenciais relacionados à observação crítica das mudanças climáticas globais.

Foi enfatizada a crescente dependência de fontes de energia fósseis e a urgente necessidade de adotar políticas de "descarbonização" para enfrentar esse desafio ambiental. Além disso, foram discutidos os gases de efeito estufa e seu impacto nas mudanças climáticas, destacando a transição necessária dos combustíveis fósseis para fontes de energia renovável.

O papel crucial do hidrogênio foi explorado como parte de uma estratégia para combater as mudanças climáticas, e foi traçada a trajetória da tecnologia do H<sub>2</sub> energético no Brasil.

Em resumo, este livro abordou a importância crítica de enfrentar as mudanças climáticas e a transição para fontes de energia mais sustentáveis. À medida que os leitores avançam em sua jornada de aprendizado sobre o hidrogênio verde, é recomendável a leitura dos próximos volumes, que oferecerão uma visão mais detalhada e completa de todos os aspectos envolvidos na implementação eficaz e eficiente dessa tecnologia.

## Referências

BERGSTROM, C. T. & DUGATKIN, L. A. Evolution. (W. W. Norton & Company, Inc., 2012).

BOGDANOV, Dmitrii; Ashish GULAGI, Mahdi FASIHI, Christian BREYER, Full energy sector transition towards 100% renewable energy supply: Integrating power, heat, transport and industry sectors including desalination, Applied Energy, Volume 283, 2021, 116273, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116273>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920316639>)

CLIMATE CHANGE 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC report, 2014.

ESA

(s.a.).[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why\\_is\\_sea\\_level\\_rising](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/Why_is_sea_level_rising)

FERNANDES, Marina Domingues (2021). O desenvolvimento de tecnologias viabilizadoras da energia do hidrogênio a partir do design dominante e paradigmas tecno-econômicos. Tese (doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/38333>

FEULNER, G. & KIENERT, H. Climate simulations of Neoproterozoic snowball Earth events: Similar critical carbon dioxide levels for the Sturtian and Marinoan glaciations. Earth Planet. Sci. Lett. 404, 200–205 (2014).

GRASBY, S. E., SANEI, H. & BEAUCHAMP, B. Catastrophic dispersion of coal fly ash into oceans during the latest Permian extinction. Nat. Geosci. 4, 104 (2011).

HANS-MARTIN Henning, Andreas PALZER, A comprehensive model for the German electricity and heat sector in a future energy system with a dominant contribution from renewable energy technologies—Part I: Methodology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 30, 2014, Pages 1003–1018, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.012>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113006710>)

LE QUÉRÉ, C. et al. Global Carbon Budget 2015. Earth Syst. Sci. Data 7, 349–396 (2015).

MAYEWSKI, P. A. et al. Holocene climate variability. *Quat. Res.* 62, 243–255 (2004).

NELLES, D., & Serrer, C. (2021). *Small Gases, Big Effect: This is Climate Change.* Penguin UK.

OUR WORLD in Data (s.a.). <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>

PALZER, Andreas; Hans-Martin HENNING, A comprehensive model for the German electricity and heat sector in a future energy system with a dominant contribution from renewable energy technologies – Part II: Results, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 30, 2014, Pages 1019-1034, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.032>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113007818>)

PLEßMANN, Guido; Matthias ERDMANN, Markus HLUSIAK, Christian BREYER, *Global Energy Storage Demand for a 100% Renewable Electricity Supply*, *Energy Procedia*, Volume 46, 2014, Pages 22-31, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.154>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214001702>)

STERNER, M., & STADLER, I. (Eds.). (2019). *Handbook of energy storage: Demand, technologies, integration.* Springer.

UNFCCC (2023). *The Kyoto Protocol - Status of Ratification* (<https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>)

VISUAL CAPITALIST (2022), <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-history-of-energy-transitions/>

# H2BRASIL



[www.quali-a.com/h2brasil](http://www.quali-a.com/h2brasil)



Por meio da:



Apoio:



Organização:

