

CAPTURA, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO DE CARBONO NO BRASIL

Contribuições para a seleção de áreas de interesse

Superintendência de Petróleo e Gás Natural
2024



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Valor Público

A EPE realiza estudos e pesquisas para subsidiar a formulação, implementação e avaliação da política e do planejamento energético brasileiro.

Com este caderno, a EPE contribui com o reconhecimento do potencial para o desenvolvimento de projetos de armazenamento geológico de carbono ao longo de todo o território nacional. Através de um criterioso mapeamento das informações essenciais para as atividades de captura, estocagem, transporte e uso de carbono, a EPE reduz a assimetria de informações disponíveis, apresenta os principais desafios e oportunidades de cada região brasileira e auxilia o direcionamento de estratégias personalizadas às múltiplas realidades presentes.

Avisos

As informações fornecidas nesta publicação refletem a visão da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Contudo, o conteúdo exposto envolve uma gama de riscos e incertezas conhecidos e desconhecidos e, portanto, os dados e as análises aqui contidas devem ser usados para fins de referência, não sendo garantia de realizações e acontecimentos futuros.

Este documento possui caráter informativo, sendo destinado a subsidiar o planejamento do setor energético nacional. Logo, quaisquer decisões de encaminhamento (como formulação de políticas públicas, definição de diretrizes estratégicas, decisões de investimento ou estratégias de negócio) dependem de outras instituições públicas e privadas.

A EPE se exime de qualquer responsabilidade por ações e tomadas de decisão que possam ser realizadas por agentes econômicos ou qualquer pessoa com base nas informações contidas neste documento.

Índice

A Era da Transição da Economia de Baixo Carbono	6
Gases do Efeito Estufa (GEE) e o setor de energia brasileiro	7
Como o setor de O&G irá se posicionar na era da transição	8
As alternativas para a transformação do setor energético	9
Entendendo redução e remoção de carbono	10
A cadeia do armazenamento de carbono	11
As vantagens do armazenamento de carbono	12
A EPE e o planejamento do CCUS no Brasil	14
Metodologia: Critérios adotados e argumentos selecionados	15
Reservatórios de interesse: Critério de seleção	16
Reservatórios de interesse (O&G)	17
Arcabouço de Conhecimento	19

Índice

Emissões de CO₂	21
Infraestrutura	23
Indústrias para Créditos de Carbono	25
Mapeamento total de áreas relevantes para armazenamento de carbono	27
Destaques do mapeamento total de áreas relevantes	28
Desafios para o aprimoramento das indicações de áreas relevantes	29
Considerações Finais	30

A Era da Transição da Economia de Baixo Carbono



O termo “**Transição Energética**” refere-se ao **movimento mundial** de promoção da **substituição** de combustíveis fósseis por **fontes** energéticas **menos intensivas em carbono**¹.



Nesse movimento, o **equilíbrio** entre a garantia de **acesso** à energia de **qualidade, segura, acessível, inclusiva e ambientalmente responsável** deve respeitar as **metas climáticas globais** e **contextualizá-las às realidades socioeconômicas e ambientais** de cada nação (IEA, 2023)².



Todavia, mudanças significativas na forma de ofertar e utilizar energia em um mundo mais descarbonizado exigem **adaptações** promovidas por **processos complexos**¹.

¹ CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (CEBRI), BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID) E EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2022. Tendências e Incertezas da Transição Energética no caso brasileiro. Disponível em https://www.cebri.org/media/documentos/arquivos/PTE_Whitepaper_21dez_PT.pdf. Acesso em 24 nov. 2023.

² INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2023. World Energy Outlook 2023. Disponível em <https://iea.blob.core.windows.net/assets/614bb748-dc5e-440b-966a-adae9ea022fe/WorldEnergyOutlook2023.pdf>. Acesso em 16 nov. 23.

³ SHAH, S. A. A. et al. 2021. Energy trilemma based prioritization of waste-to-energy technologies: Implications for post-COVID-19 green economic recovery in Pakistan. Journal of Cleaner Production, v. 8, 15 February 2021, p. 124729.

TRILEMA ENERGÉTICO³



Gases do Efeito Estufa (GEE) e o setor de energia brasileiro



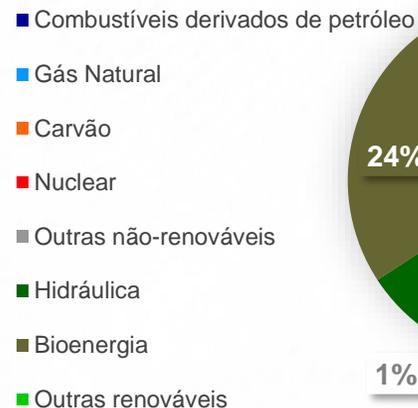
Em contraposição a situação mundial, o **Brasil** apresenta uma **matriz energética** com forte (e crescente) participação de fontes **renováveis** (46%)^{1 e 2}.



A situação particular do Brasil se expressa ainda na contribuição de cada setor da economia para as emissões de GEE para a atmosfera^{3 e 4}: se no **mundo** o **setor energético** é o maior responsável; no **Brasil**, o mesmo ocupa a terceira posição e fica atrás dos setores de **mudanças de uso da terra e florestas e agropecuária**.



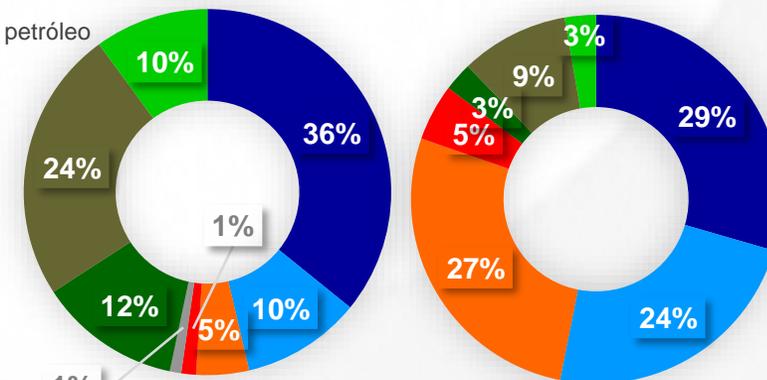
Embora seja um dos 5 maiores emissores de GEE, o **Brasil** contribuiu com **menos de 5%** das mais de 60 Gt CO₂e³ lançadas para a atmosfera em todo o mundo, em **2022**. Nesse ano, **China, EUA, Índia, UE27 e Rússia** responderam por mais da **metade** das emissões⁴.



Matriz Energética - 2022

Brasil²

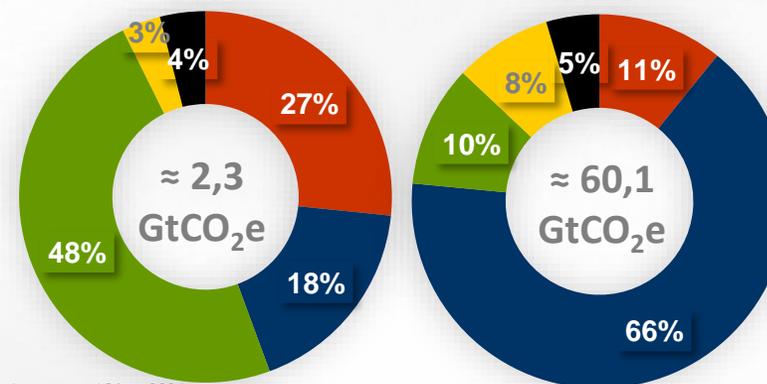
Mundo¹



Emissões de GEE - 2022

Brasil⁵

Mundo^{3 e 4}



¹ IEA. 2023. Energy Statistics Data Browser. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>. Acesso em 16 jan. 2024.

² EPE. 2023. Balanço Energético Nacional. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em 23 nov. 2023.

³ O valor total considera as emissões da categoria "LULUCF - Forest Land, Deforestation, Drainage of Organic Soils, Other Land use".

⁴ CRIPPA, M. et al. 2023. GHG emissions of all world countries. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0cde0e23-5057-11ee-9220-01aa75ed71a1/language-e>. Acesso em 23 nov. 2023.

⁵ SISTEMA DE REGISTRO NACIONAL DE EMISSÕES (SIRENE). 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>. Acesso em 01 dez. 2023.

Como o setor de O&G irá se posicionar na era da transição



Concomitante às tecnologias para descarbonização, o setor de **óleo e gás natural (O&G)**, ainda será parte **importante da matriz energética**. Embora seja projetada, para as próximas décadas, uma queda em termos de demanda, o setor **continuará sustentando indústrias** onde **não** é possível a **completa substituição** de seus **produtos finais** (Ex: **petroquímica**)¹.



Em paralelo, o setor de O&G deve ser visto como **parceiro** importante da **transição energética** e **implementação** de tecnologias **renováveis**, uma vez que este setor propicia **condições financeiras** e **suporte técnico** para o desenvolvimento de diversos projetos associados à economia de baixo carbono.

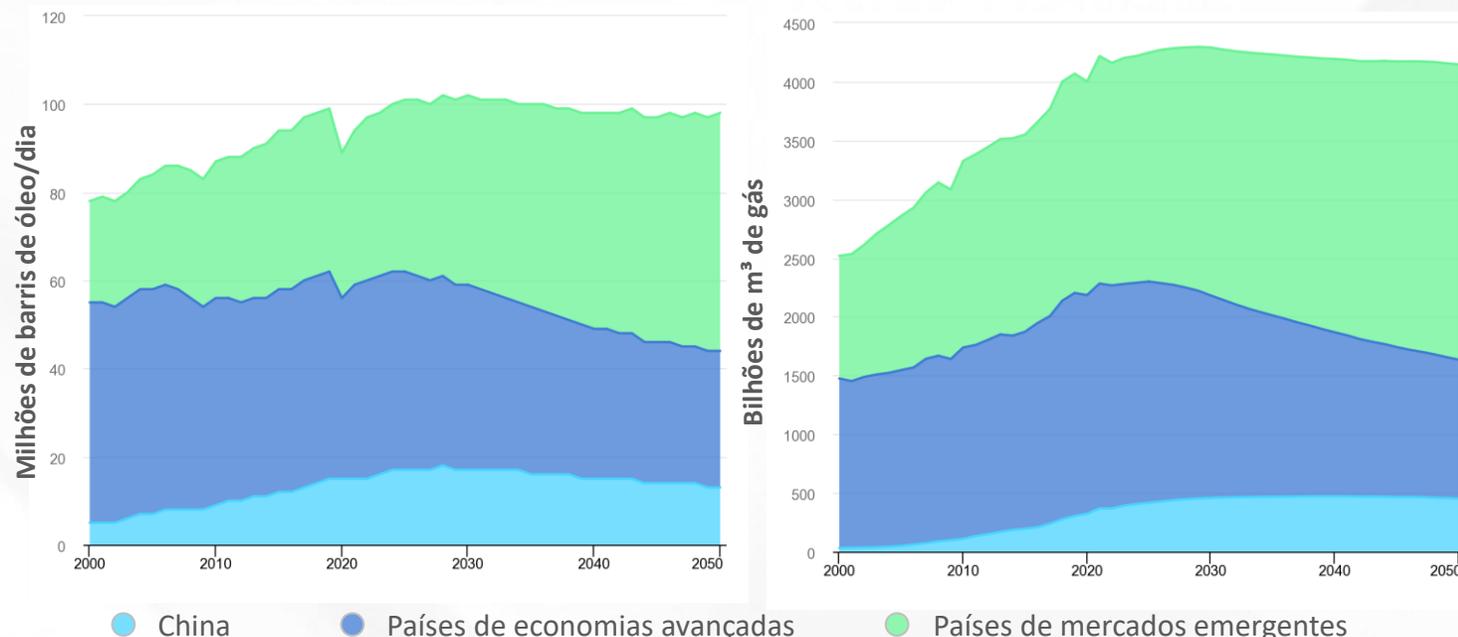


Há de se destacar, contudo, que para a **coexistência** das atividades do **setor de O&G** com as alternativas de menor intensidade de carbono é **imperioso** aumentar os esforços de **neutralização** das **emissões** das fontes fósseis.



Nesse sentido, a indústria de hidrocarbonetos brasileira apresenta uma **vantagem competitiva** por ter uma **taxa de emissão** de 16,9 kg CO₂/boe, **abaixo da média mundial** (20 kg CO₂/boe)³.

Demandas por óleo e gás natural até 2050 segundo IEA (2023)^{1,2}



¹ IEA. 2023. World Energy Outlook 2023. Disponível em <https://iea.blob.core.windows.net/assets/614bb748-dc5e-440b-966a-adae9ea022fe/WorldEnergyOutlook2023.pdf>. Acesso em 16 nov. 23.

² Embora o gráfico faça referência a um cenário mais conservador, mesmo em cenários mais ambiciosos em termos de emissões (como o *Net Zero Emissions/NZE* da IEA) mostra a presença dos combustíveis fósseis até o horizonte de 2050, com destaque para a atuação do gás natural no setor de transporte e industrial (químico e cimento principalmente).

³ BP. 2022. bp Energy Outlook. Nota: dado de 2019 considerando apenas países com produção acima de 1 Mb/d nesse ano.

As alternativas para a transformação do setor energético



No setor de energia, uma série de **diferentes estratégias** são elencadas para a **promoção da descarbonização e redução** das emissões de **GEE¹ e ²**.



Questões de ordem **econômica** e **técnica** influenciam o **ritmo de implementação** e a **escala de alcance** dessas alternativas, de tal modo que, para o cumprimento das metas climáticas globais acordadas para 2050, a **conjugação personalizada de múltiplas frentes** tem se mostrado um caminho promissor a ser adotado^{2 e 3}.



O **apoio político** e o de condições adequadas à **atração de investimentos** para a execução de projetos de descarbonização são fatores cruciais para o alcance das metas¹.



Dentre as **alternativas tecnológicas** que mais têm **atraído atenção**, com potencial para contribuir para a **adaptação** necessária do **setor de O&G** na **era de baixo carbono**, está o armazenamento geológico de carbono – seja pelas técnicas de **CCS (Carbon Capture and Storage)** ou **CCU (Carbon Capture and Utilisation)**.



¹ IEA. 2023. Decarbonisation enablers. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/decarbonisation-enablers>. Acesso em 18 jan. 2024.

² IBP. 2023. Tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCUS) e sua importância para a transição energética no Brasil. Disponível em <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2023/06/ccus.pdf>. Acesso em 28 jun. 2023.

³ WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). 2023. Closing the Climate Action Gap: Accelerating Decarbonization and the Energy Transition in MENA. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Closing_the_Climate_Action_Gap_2023.pdf. Acesso em 18 jan. 2023.

Entendendo redução e remoção de carbono

Para o alcance dos compromissos globais *net-zero* duas frentes devem ser abordadas^{1 e 2}:

- ❑ **REDUÇÃO** das emissões, para a atmosfera, de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases do efeito estufa (GEE), a partir das atividades humanas;
- ❑ **REMOÇÃO** do CO₂ (do inglês “*Carbon Dioxide Removal - CDR*”), em excesso na atmosfera, a partir da adoção de tecnologias e práticas humanas (que podem inclusive se basear em processos naturais) junto com o armazenamento permanente desse gás em reservatórios geológicos profundos, em terra ou mar, bem como por meio de produtos.

Carbon capture and storage (CCS)

Captura e Armazenamento de Carbono

Captura e separação do CO₂ (de origem industrial ou de forma direta do ar), com posterior **estocagem permanente** em sítios geológicos. Quando o CO₂ é proveniente da queima de combustíveis fósseis, sua remoção contribui para a **redução** das emissões das atividades. A **remoção** (emissão negativa) ocorre associada ao CO₂ oriundo de **biomassa** (bioenergia) ou da **captura direta do ar**¹

Carbon capture and utilisation (CCU)

Captura e Utilização de Carbono

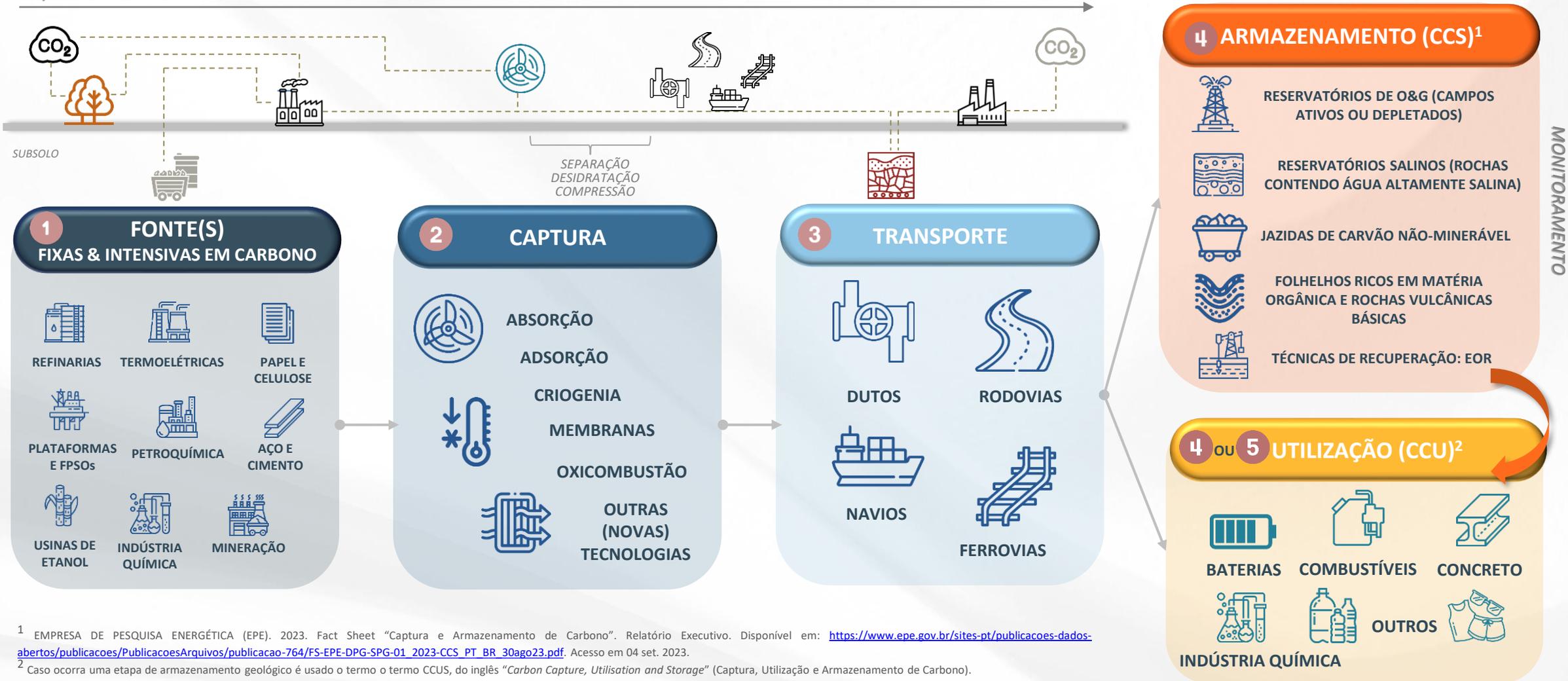
Reutilização direta do carbono capturado (como fertilizante ou em bebidas) ou **indireta** como componente de novos produtos (por exemplo, concreto, combustíveis, produtos químicos). Se o carbono for **removido** da atmosfera e **permanecer num circuito fechado** durante **muitas décadas ou séculos** (por exemplo, quando incorporado em materiais de construção), pode ser considerado **remoção**. Nos casos em que o carbono é **rapidamente (re)liberado** para a atmosfera, estaria relacionado a práticas de **redução**¹

¹ CARBON GAP. 2023. The difference between CCS, CCU, and CDR - and why it matters. Disponível em: <https://carbongap.org/wp-content/uploads/2022/11/The-difference-between-CCS-CCU-and-CDR-and-why-it-matters.pdf>. Acesso em 15 jan. 2024.

² INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2023. Carbon Dioxide Removal: Fact Sheet. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGIII_Factsheet_CDR.pdf. Acesso em 18 dez. 2023.

A cadeia do armazenamento de carbono

DIREÇÃO DO FLUXO DE PROCESSOS



¹ EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2023. Fact Sheet "Captura e Armazenamento de Carbono". Relatório Executivo. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-764/FS-EPE-DPG-SPG-01_2023-CCS_PT_BR_30ago23.pdf. Acesso em 04 set. 2023.

² Caso ocorra uma etapa de armazenamento geológico é usado o termo o termo CCUS, do inglês "Carbon Capture, Utilisation and Storage" (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono).

As vantagens do armazenamento de carbono



Suporta a **retirada** (em grande quantidade) de **carbono** da atmosfera por milhares de anos.

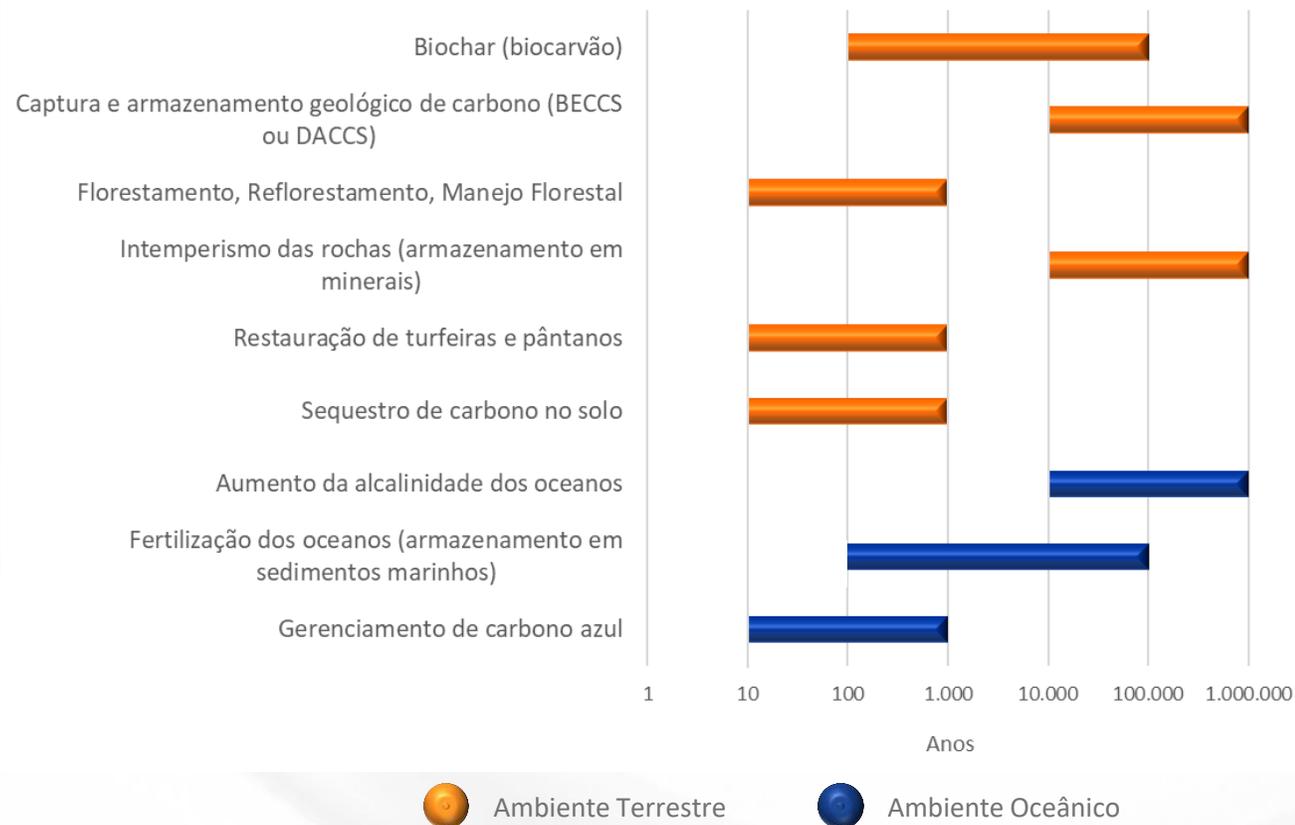


É **essencial** para o **abatimento** das **emissões** de setores cuja **descarbonização** das atividades é **mais difícil** (*hard-to-abate*) – por motivos econômicos ou técnicos: indústrias de cimento, ferro e aço, petroquímica.



O CO₂ capturado **pode ser usado** como insumo das **indústrias de ureia e metanol**.

Escalas de tempo de armazenamento das diferentes soluções para remoção de CO₂^{1 e 2}



¹ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2023. Carbon Dioxide Removal: Fact Sheet. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGIII_Factsheet_CDR.pdf. Acesso em 18 dez. 2023.

² O gráfico apresenta as escalas de tempo de armazenamento das técnicas de remoção de CO₂ da atmosfera. A captura e o armazenamento geológico associados à exploração e produção de combustíveis fósseis, embora contemple escalas da mesma ordem que os demais tipos de CCS – a saber DACCS e BECCS, sustenta a redução dos teores emitidos pela atividade (ver página 9).

Nota:

- DACCS é a sigla para “Direct Air Capture with Carbon Storage” (Captura direta do ar e armazenamento geológico de carbono).
- BECCS é a sigla para “Bioenergy with carbon capture and storage” (Bioenergia com captura e armazenamento geológico de carbono).

As vantagens do armazenamento de carbono



Possibilidade de **acoplamento** com **atividades** de produção de **hidrogênio** de **baixo carbono** e **bioenergia**, promovendo o alcance das emissões negativas¹!



Transferência coordenada de **mão-de-obra** e **conhecimento** de um setor importante economicamente como o O&G.



Capacidade de reaproveitar **instalações** (após os devidos estudos que avaliem a pertinência desse reuso) ou a **faixa de território** já alterada.

¹ EPE. 2023. Fact Sheet “Captura e armazenamento de carbono biogênico: Bio-CCS”. Relatório Executivo. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-767/FS-EPE-DPG-SDB-2023-05-BioCCS.pdf>. Acesso em 06 out. 2023.

² COSTA, L. et al.. 2023. A transição energética e o setor de petróleo e gás brasileiro: Textos para Discussão. BNDES, [S. l.]. Disponível em: https://storage.epbr.com.br/2023/11/BNDES_Transic%CC%A7a%CC%83o-energe%CC%81tica_A.pdf. Acesso em 15 jan. 2024.

³ GREAT PLAINS INSTITUTE. 2023. Jobs and economic impact of carbon capture deployment: Midcontinent Region. Disponível em: https://carboncaptureready.betterenergy.org/wp-content/uploads/2020/10/Midcontinent_Jobs.pdf. Acesso em 15 jan. 2024.

⁴ CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (CEBRI), BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID), EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) E CENERGIA. 2023. Neutralidade de carbono até 2050: Cenários para uma transição eficiente no Brasil – Fevereiro de 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-726/PTE_RelatorioFinal_PT_Digital_.pdf. Acesso em 15 jan. 2024.

⁵ CCS BRASIL. 2023. 1º Relatório Anual de CCS no Brasil: 2022/2023. Disponível em https://www.ccsbr.com.br/_files/ugd/11a7f0_f79d8b3570e04429974fa4a67d444881.pdf. Acesso em 16 maio 2023.

Impactos econômicos do setor de O&G em sua forma convencional (2010-2020) - Brasil²



17% do PIB Industrial

Postos de trabalhos (2023-2032)
73 mil diretos/ano
1.705 mil indiretos/ano



R\$ 891,2 bilhões
Arrecadação de impostos & participações governamentais

Novos postos podem ser criados pelas atividades de CCUS nas fases de **pesquisa, instalação (em maior número) e operação**, tanto nos casos de retrofit quanto de criação de **novas infraestruturas**³

Para diferentes cenários de transição energética no Brasil, as estimativa de **investimentos anuais** em projetos de CCS, são da ordem de R\$ 2 a 4,5 bilhões até 2050⁴

No Brasil, apenas o mercado de **créditos de carbono** pode gerar de **\$14 a \$20 bilhões** de dólares por ano⁵

A EPE e o planejamento do CCUS no Brasil



Com o **objetivo** de oferecer uma visão sistêmica de **como o setor de O&G pode contribuir** para a **adaptação** do **setor energético** nacional em uma era de **atividades de baixo carbono**, a EPE realizou, ao longo de 2023, um mapeamento para indicação da **relevância** de cada área do território nacional, com base no conjunto de informações disponíveis para o **desenvolvimento** de **projetos** de armazenamento geológico de carbono no Brasil, tendo como base a representação dos principais pilares da atividade de CCUS.



Os esforços empreendidos buscam **impactar** positivamente a **redução** da **assimetria de informações**, principalmente ao promover um **canal** de comunicação **objetivo** e **claro** sobre o tema, seus **desafios** e **oportunidades**. Além disso, busca-se **contribuir** para o **direcionamento** das **estratégias** mais **eficientes** e para a tomada de **decisões sustentáveis** técnica e economicamente sobre o armazenamento geológico de carbono no país.



Dada a **complexidade** para a **seleção de áreas de interesse** já **demonstrada por diversos grupos**^{1, 2 e 3}, a **metodologia** de análise **empregada** foi **inspirada** naquela, estabelecida há mais de uma década, que permite a elaboração dos **mapas de Importância Petrolífera de Área (IPA)**, disponíveis no estudo “Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás” (ZNMT).



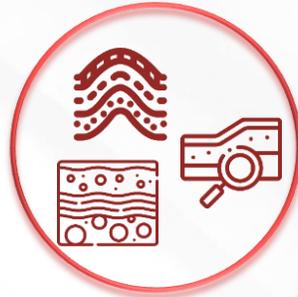
¹ DEPARTMENT OF ENERGY U.S. (DOE). NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL). 2017. Best Practices: Site Screening, Site Selection, and Site Characterization for Geologic Storage Projects. Disponível em <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/2018-10/BPM-SiteScreening.pdf>. Acesso em 07 mar. 2023.

² KETZER, O. J. M. M. et al. 2016. Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2016, 95 p.

³ LOURENÇO, M. C. M. et al. 2023. Carbon Capture and Storage in Brazil and Systematic Review of Criteria for Prospecting Potential Areas. In: Offshore Technology Conference Brasil, 2023, Rio de Janeiro. [S. l.]: SPE, 2023, 16 p.

Metodologia: Critérios adotados e argumentos selecionados

Reservatórios de interesse (O&G)



Arcabouço de Conhecimento



CRITÉRIOS ECONÔMICOS

Captura, transporte e uso

CRITÉRIOS TÉCNICOS

Sítios para Armazenamento



Emissões de CO₂



Energia e Processos Industriais



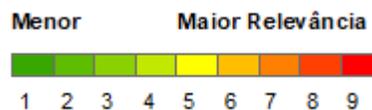
Infraestrutura



Indústrias para Créditos de Carbono



% Peso na composição de argumentos



9 classes de relevância em cada mapa dos argumentos

Reservatórios de interesse: Critério de seleção

Dentre as possibilidades mais estudadas de sítios para armazenamento subterrâneo de CO₂ estão¹:



Reservatórios de óleo e gás, de campos ativos ou depletados



Reservatórios salinos (contendo água não-potável, em que a salinidade pode variar de ligeiramente salobra a valores muito superiores à salinidade média da água do mar¹)



Jazidas de carvão não-minerável



Folhelhos ricos em matéria orgânica



Rochas vulcânicas básicas



Dificuldade de obtenção de informações detalhadas sobre reservatórios salinos em todo o território!

Impossibilidade de representação neste exercício.

No mundo, menor número de projetos²

Para as futuras atualizações, espera-se um **maior entendimento** da distribuição dos **reservatórios salinos**. Estimativas apontam as bacias de Amazonas, Campos, Paraná, Parnaíba, Santos e São Francisco como destaques³.

¹ Segundo a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), a salinidade da água do mar varia, em média, entre 33 e 37 gramas de sais dissolvidos por litro (33 – 37 ppt) .

² DEPARTMENT OF ENERGY U.S. (DOE). NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL). 2017. Best Practices: Site Screening, Site Selection, and Site Characterization for Geologic Storage Projects. Disponível em <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/2018-10/BPM-SiteScreening.pdf>. Acesso em 07 mar. 2023.

³ LOURENÇO, M. C. M. et al. 2023. Carbon Capture and Storage in Brazil and Systematic Review of Criteria for Prospecting Potential Areas. In: Offshore Technology Conference Brasil, 2023, Rio de Janeiro. [S. l.]: SPE, 2023, 16 p.

Reservatórios de interesse (O&G)

Objetivo

Identificar, qualitativamente, os reservatórios de interesse para armazenamento subterrâneo de carbono sob a ótica de *plays* exploratórios, na indústria de óleo e gás, encontrados nas bacias sedimentares brasileiras.

SubargUMENTOS

- A. Tipo e status exploratório¹ do reservatório
- B. Chance de ocorrência de reservatório²

Fonte das Informações: EPE (2023)³

¹ O status exploratório predominante de um reservatório expressa a necessidade de redução de incertezas geológicas e é avaliado com base no número de descobertas, que expressam a existência de um sistema petrolífero ativo. Um status estabelecido corresponde a uma situação em que já estejam confirmadas as condições geológicas regionais necessárias para existência de acumulações. Adota-se, segundo metodologia em EPE (2023), que reservatórios com três ou mais descobertas são estabelecidos. Imaturo é aquele em que a presença de um sistema foi confirmada por até duas acumulações. Fronteira é a situação em que não há descoberta, mas conceitualmente podem ser esperadas condições para acumulações.

² As características que definem um bom reservatório para armazenamento de CO₂ são semelhantes às utilizadas para avaliar reservatórios do ponto de vista da indústria de óleo e gás. Assim, a chance de um reservatório ser encontrado com qualidade e volume suficientes para que haja uma acumulação de hidrocarbonetos seria uma pista para a chance de um reservatório ter condições de armazenar CO₂.

³ EPE. 2023. Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás: Ciclo 2021-2023. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/zoneamento-nacional-de-recursos-de-oleo-e-gas-2021-2023>.

⁴ Priorização com base no tipo de reservatório, a partir das experiências de projetos existentes (que consideram a porosidade, permeabilidade, interações químicas) que monitoram o volume acumulado e dispersão da pluma de CO₂ injetada (IEA, 2020⁶; KETZER et al., 2016⁷).

⁵ DEPARTMENT OF ENERGY U.S. (DOE). NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL). 2017. Best Practices: Site Screening, Site Selection, and Site Characterization for Geologic Storage Projects. Disponível em <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/2018-10/BPM-SiteScreening.pdf>. Acesso em 07 mar. 2023.

Premissas

Reservatórios de arenitos, carbonatos ou ígneas considerados. Importância de arenitos maior do que de carbonatos e, estes, de ígneas⁴

Restrição aos segmentos de reservatório abaixo de 800 m de profundidade (profundidade a partir da qual o CO₂ mantém o estado supercrítico)⁵

Restrição aos segmentos de reservatórios onde houvesse selo⁶

Combinação, em ambos os subargUMENTOS, com a seguinte distribuição de pesos:
Arenitos = 70%, Carbonatos = 20% e Igneas = 10%

⁶ A informação obtida do shapefile do fator Trapa considerado na metodologia de EPE (2023).

⁷ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2020. Energy Technology Perspectives 2020. Setembro, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acesso em 07 mar. 2023.

⁸ KETZER, O. J. M. M. et al. 2016. Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2016, 95 p.

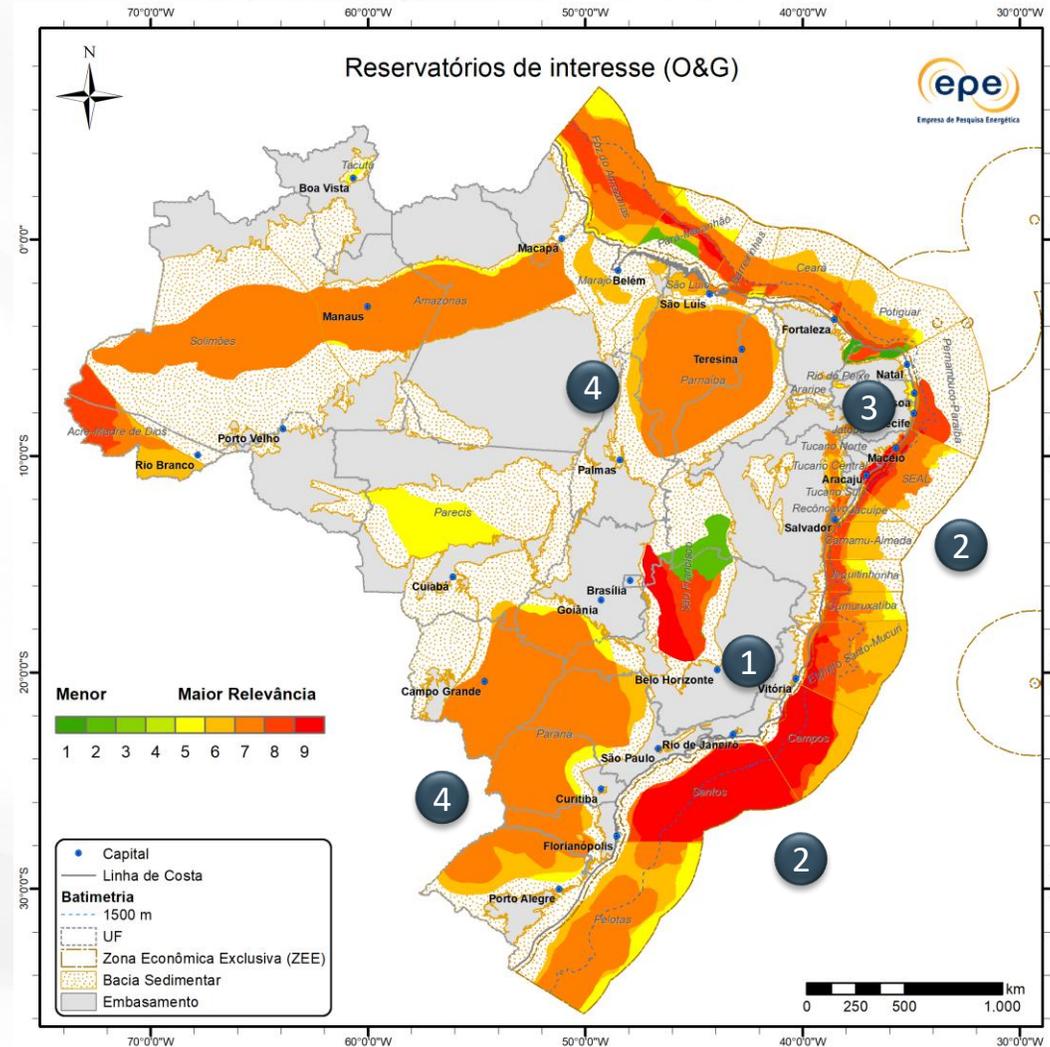
Reservatórios de interesse (O&G)

1

Reservatórios de arenitos com ao menos uma descoberta e elevadas expectativas destacam as bacias de Alagoas, Campos, Espírito Santo-Mucuri, Santos, São Francisco, SEAL, Sergipe, Paraná, Recôncavo e Tucano Sul.

2

Reservatórios de carbonatos contribuem para as possibilidades de armazenamento nas bacias de Alagoas, Campos, Espírito Santo-Mucuri, Santos, São Francisco, SEAL e Sergipe.



3

Reservatórios em rochas ígneas associados aos *plays* exploratórios de hidrocarbonetos são observados nas bacias de Alagoas, Campos, Recôncavo, Santos, Sergipe e SEAL.

4

As bacias do Parnaíba e Paraná podem ter sua relevância ainda mais aumentada a partir das respostas dos estudos sobre mineralização do CO₂ em rochas vulcânicas básicas aí desenvolvidos¹.

¹ LOURENÇO, M. C. M. et al. 2023. Carbon Capture and Storage in Brazil and Systematic Review of Criteria for Prospecting Potential Areas. In: Offshore Technology Conference Brasil, 2023, Rio de Janeiro. [S. l.]: SPE, 2023, 16 p.

Arcabouço de Conhecimento

Objetivo

Indicar a importância das áreas com base na disponibilidade de dados de poços e levantamentos de sísmicas 2D e 3D¹.

SubargUMENTOS

- A. Poços
- B. Levantamentos de Sísmica 2D
- C. Levantamentos de Sísmica 3D

Fonte das Informações: ANP (2023)¹

Premissas

Apenas poços exploratórios selecionados

Importância das sísmicas 3D maior do que a de levantamentos 2D e poços

¹ Para conhecer a capacidade de armazenamento dos eventuais sítios é necessário o mapeamento por interpretação dados de sísmica e poços. Como os projetos de CCUS ainda são considerados de alto investimento, muito em virtude das etapas de captura e transporte, a procura por áreas que demandem um menor aporte de recursos para a caracterização dos eventuais candidatos é um caminho lógico. Ademais, o conhecimento prévio de dados existentes direciona as estratégias de priorização ou exclusão de áreas.

² AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). 2023. Banco de Dados de Exploração e Produção. Shapefiles de poços e levantamentos sísmicos. Consulta em Março de 2023 .

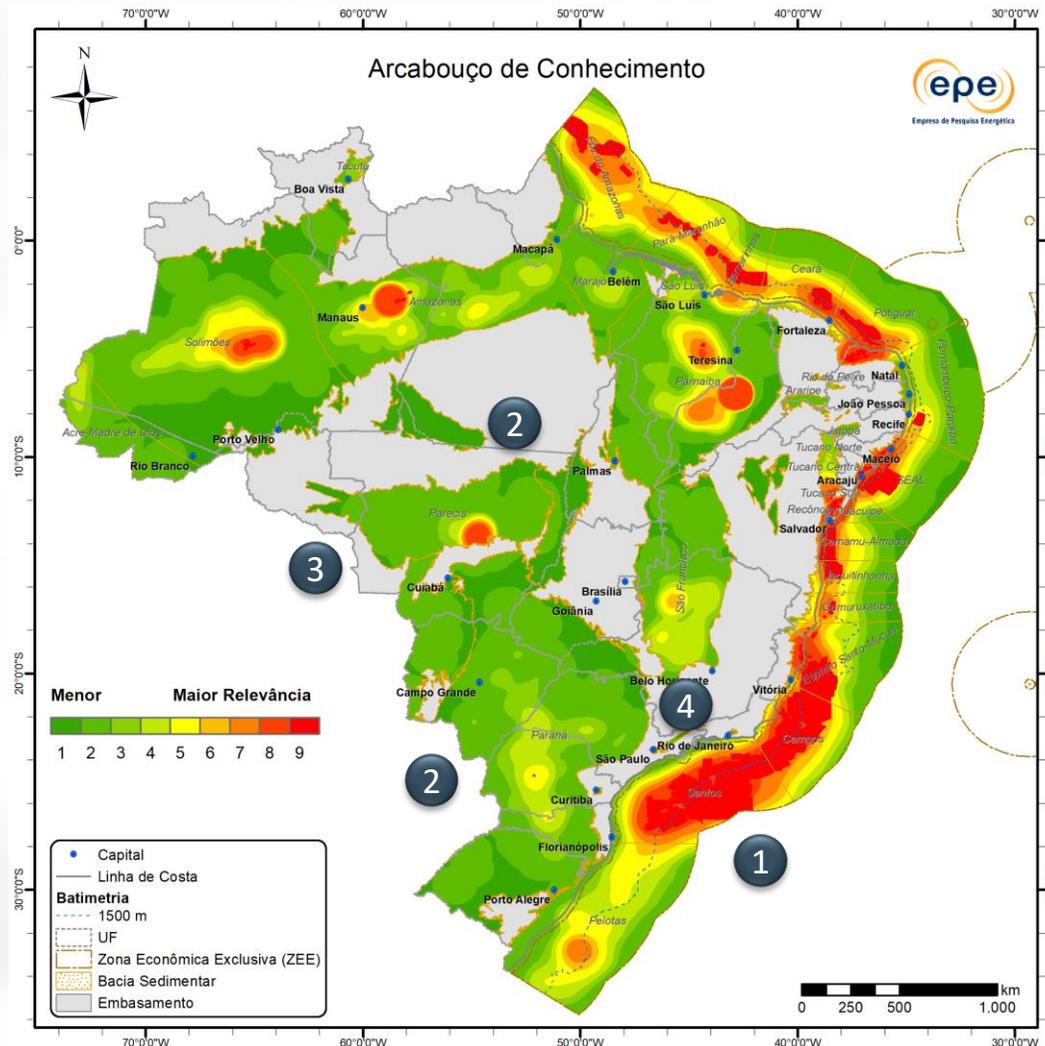
Arcabouço de Conhecimento

1

Concentração de dados nas bacias de elevado potencial e bacias maduras. Bacias marítimas concentram dados de sísmica 3D.

2

Necessidade de aquisição de dados nas porções interiores, especialmente nas regiões centro-oeste e sul. Apenas 47% da área sedimentar brasileira possui cobertura de dados de poços e sísmicas¹.



3

Poços exploratórios perfurados pelo setor de óleo e gás ajudam a identificar as zonas de reservatórios profundos (> 800 m) com águas altamente salinas, fora do limite destinado ao consumo humano direto.

4

Estudos sobre armazenamento em reservatórios salinos estão sendo conduzidos na Bacia do Paraná (acoplamento com bionergia) e na porção offshore do Estado do Rio de Janeiro^{1 e 2}.

¹ LOURENÇO, M. C. M. et al. 2023. Carbon Capture and Storage in Brazil and Systematic Review of Criteria for Prospecting Potential Areas. In: Offshore Technology Conference Brasil, 2023, Rio de Janeiro. [S. l.]: SPE, 2023, 16 p.

² EPBR. 2023. Petrobras assina acordo com o RJ para avaliar hubs de captura de carbono e hidrogênio. EPBR, [S.l.], 04 dez. 2023. Disponível em: < <https://epbr.com.br/petrobras-assina-acordo-com-o-rj-para-avaliar-hubs-de-captura-de-carbono-e-hidrogenio/>>. Acesso em 27 dez. 2023.

Emissões de CO₂

Objetivo

Indicar as principais fontes estacionárias de CO₂ dos setores de energia e processos industriais.

Subargumentos

- A. Emissões de CO₂ pelo Setor de Energia
- B. Emissões de CO₂ pelo Setor de Processos Industriais

Fonte das Informações: Plataforma do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima¹

Premissas

Emissões totais de CO₂ ao nível de Unidade Federativa²

Selecionar os dados de emissão sem bunker

Representar apenas o impacto das atividades de oferta e demanda de energia³

União dos dois subargumentos pelo máximo nível de relevância obtido nos mapas individualizados com as 9 classes consideradas

¹ Plataforma SEEG. Painel de Dados. Disponível em <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em 23 fev. 2023.

² Na plataforma consultada, isso correspondeu às informações ao nível mais detalhado possível.

³ As emissões de CO₂ dos setores de mudanças de uso da terra e florestas e agropecuário possuem uma série de ações específicas que podem, e devem, ser incorporadas para a redução das emissões nessas atividades, tais como reflorestamento, criação de áreas protegidas, implantação de boas práticas agropecuárias e sistemas de integração, adoção de produtos e processos sustentáveis⁴.

⁴ SEEG. 2021. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1973-2020). Disponível em https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG9_DOC_ANALITICO_2021_FINAL.pdf. Acesso em 05 out. 2023.

Infraestrutura

Objetivo

Indicar a disponibilidade das infraestruturas de transporte que possam impactar a movimentação do CO₂ de possíveis pontos de captura até os candidatos a sítios de estocagem ou utilização.

Subargumentos

- A. Instalações portuárias
- B. Gasodutos
- C. Rodovias
- D. Ferrovias

Fonte das Informações: Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2023)¹, EPE (2023)², Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2023)³ e Ministério de Infraestrutura (2023)⁴.

¹ AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-contudos/informacoes-geograficas>. Acesso em 14 mar. 2023.

² EPE. 2023. Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás: Ciclo 2021-2023. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/zoneamento-nacional-de-recursos-de-oleo-e-gas-2021-2023>.

³ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em 14 mar. de 2023.

⁴ MINISTÉRIO DE INFRAESTRUTURA. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit-bit-mapas>. Acesso em 31 de mar. 2023.

Premissas

Considerar os principais modos de transporte já envolvidos em projetos ao redor do mundo - gasodutos, instalações portuárias, rodovias e ferrovias

Instalações portuárias desconsideraram casos cuja utilização é exclusiva para outro fim (Exemplo: turismo)

Rodovias contabilizaram apenas aquelas com pavimentação, à fim de considerar casos que possam minimamente suportar o deslocamento dos caminhões

Faixas de influência de cada instalação seguiram os valores adotados para o IPA de Infraestrutura presente em EPE (2023)⁵

⁵ A partir do centro de cada instalação foi definida uma faixa de influência principal (máxima), com raio de 2,5 km para instalações portuárias ou 1 km para rodovias e ferrovias existentes (ou em construção). Para os casos previstos e/ou em estudo, o raio aplicado foi de 10 km para portos e 3 km para rodovias e ferrovias. Rodovias e ferrovias tiveram a faixa de influência principal considerada somente dentro das bacias sedimentares, ao passo que a influência das instalações portuárias foi avaliada tanto dentro como fora das bacias sedimentares. Adicionalmente, para cada ponto além da faixa de influência principal foram criadas oito faixas igualmente intervaladas dentro da distância máxima de 50 km para as instalações portuárias instaladas e 20 km para aquelas previstas; e 24 km para as rodovias e ferrovias existentes e 8 km para as previstas.

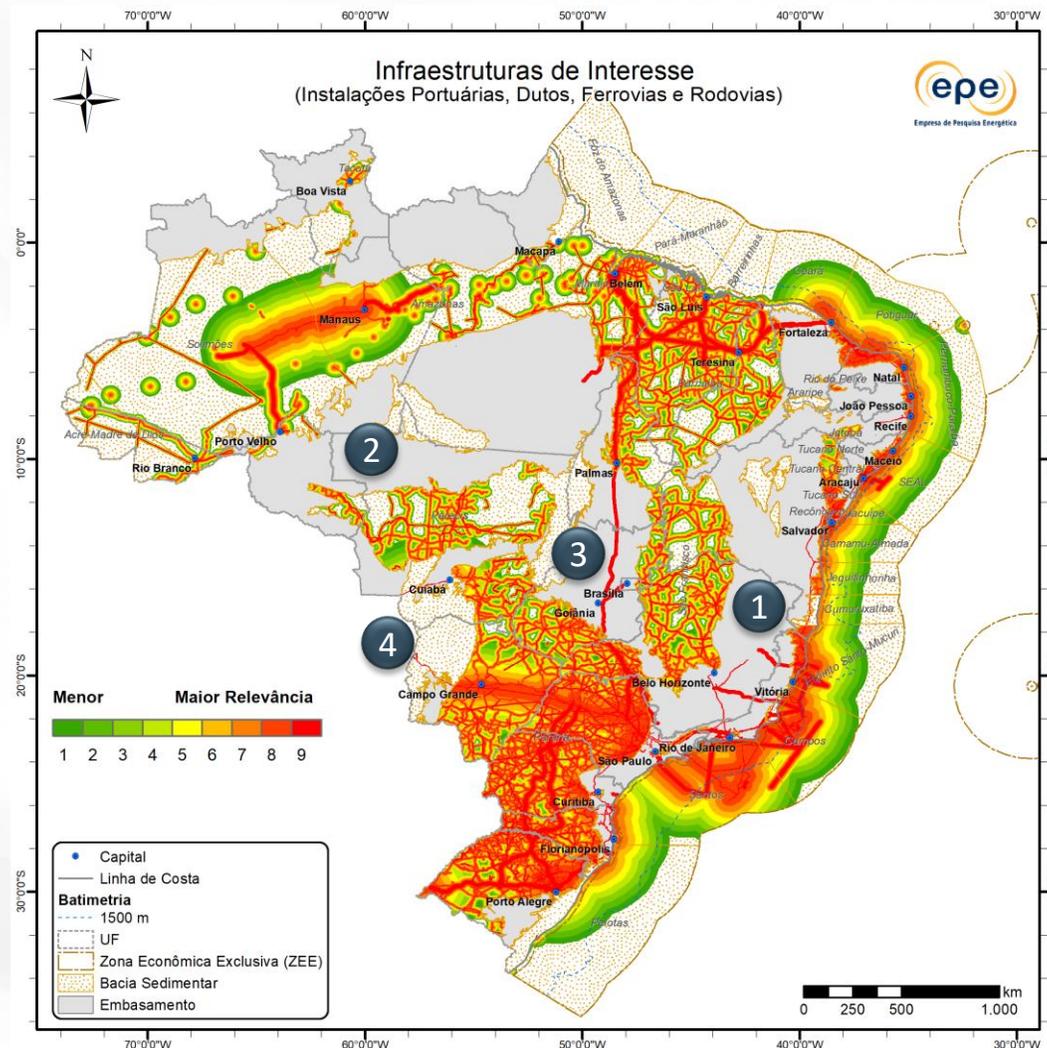
Infraestrutura

1

Malha de dutos e rodovias concentrada na porção litorânea, principalmente das regiões sudeste, sul e nordeste, as 3 principais participações do PIB brasileiro em 2021 (IBGE, 2023).

2

Regiões norte e centro-oeste são as mais carentes em infraestruturas terrestres (existentes e planejadas). A região norte possui um elevado número de instalações portuárias, claramente em função da fisiografia local.



3

Diluição e diversificação da malha alavancariam a relevância das porções interiores do Brasil e são essenciais para as atividades relacionadas ao setor agropecuário.

4

Gasodutos pré-existent, precisam de avaliação prévia para reaproveitamento ou desenvolvimento de novos materiais para transporte de CO₂, dada as propriedades corrosivas e comportamento termodinâmico desse gás. Pressão de fluxo, integridade e avaliação do tempo de vida restante são alguns parâmetros a serem avaliados.

¹ IBGE. 2023. Sistema de Contas Regionais: Brasil 2021. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102045_informativo.pdf. Acesso em 10 jan. 2024.

Indústrias para Créditos de Carbono

Objetivo

Reconhecimento das regiões de interesse para o mercado de créditos de carbono a partir das principais indústrias emissoras de CO₂ (ou outros Gases do Efeito Estufa, GEE).

Subargumento

A. Plantas de representantes dos setores regulados pela Política Nacional de Mudanças Climáticas (Lei nº 12.187, de 29/12/2009).

Fontes das Informações:

- ❑ Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos (SEE) da EPE (indústrias de aço, mineração, papel e celulose e petroquímica)¹;
- ❑ SNIC (cimenteiras)²;
- ❑ Webmap EPE (usinas termelétricas)³;
- ❑ PEGANBIO (usinas produtoras de etanol de cana)⁴.

Premissas

Plantas dos setores de cimenteiras, aço, mineração, papel e celulose, petroquímicos e químico⁵. Inclusão de usinas termelétricas e usinas produtoras de etanol de cana

No setor de mineração, restrição aos subsetores de pelotização, bauxita e cobre

Usinas termelétricas restritas aos casos que usam como combustível biomassa ou combustíveis fósseis

Associação das unidades em relação às cidades em que estão localizadas

Raio de influência de 100 km a partir das fontes emissoras em virtude dos custos de transporte envolvidos

¹ Levantamento baseado modelo de demanda de eletricidade dos grandes consumidores.

² SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO (SNIC). Relatório Anual. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2021.pdf. Acesso em 25 maio 2023.

³ Webmap EPE. 2023. Disponível em <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em março de 2023.

⁴ GRUPO TÉCNICO DE SEGURANÇA DE INFRAESTRUTURAS CRÍTICAS DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (PEGANBIO). Levantamento interno.

⁵ Indústria *hard-to-abate*.

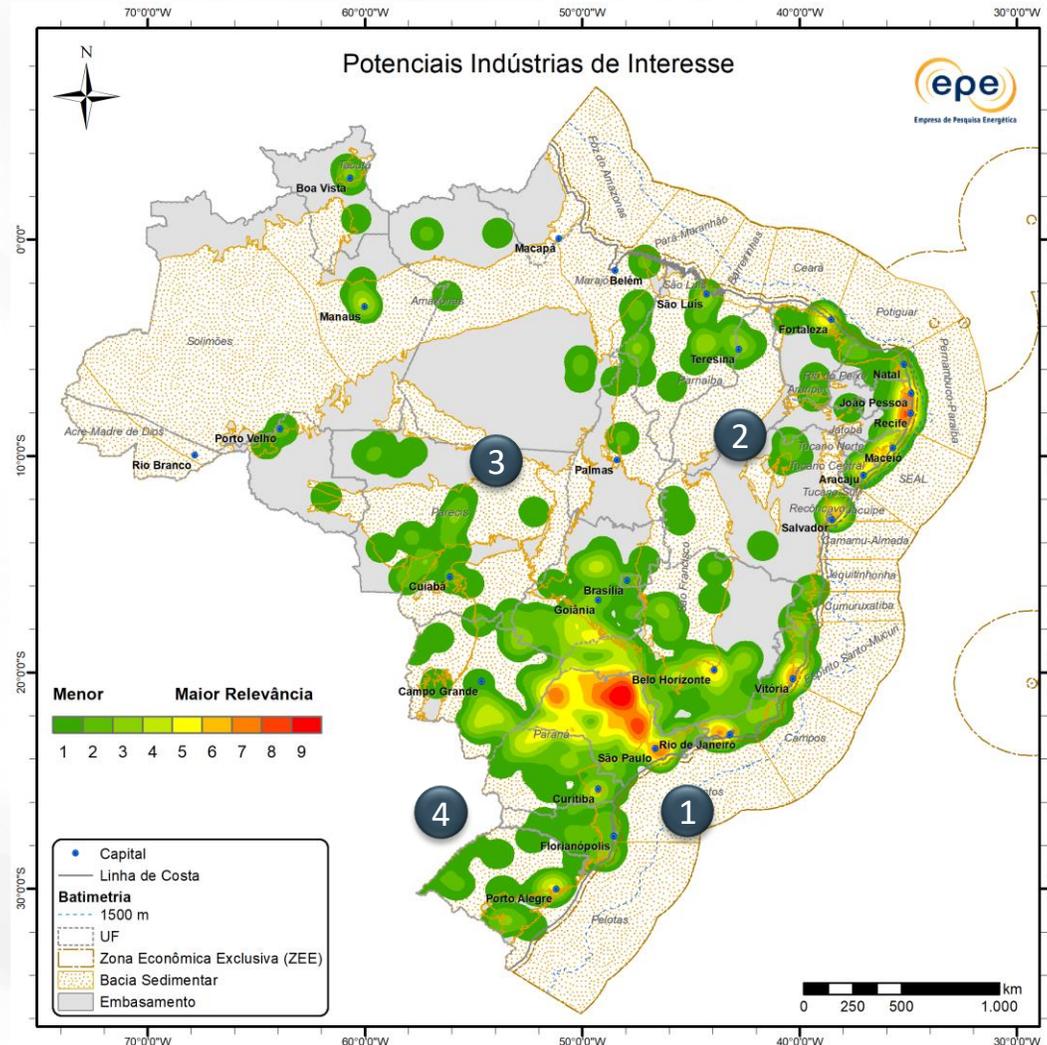
Indústrias para Créditos de Carbono

1

A região sudeste concentra o maior percentual de todas as indústrias consideradas (52%). Internamente, o setor de energia (79% das indústrias na região) - principalmente de UTEs a biomassa e usinas de etanol de cana - domina, seguido por cimenteiras (8%) e aço (5%). Os setores de mineração e químico contribuem com menos de 3% das potenciais interessadas na região, que representam mais de 60% de todo o conjunto levado em conta no território nacional.

2

Na região nordeste (19% do total de indústrias elencadas), o mesmos setores dominam localmente: energia (76% do total regional), cimenteiras (15%) e aço (3%). No caso do setor energético, as 3 frentes contempladas (UTEs a fósseis, UTEs a biomassa e usinas de etanol de cana) apresentam equilíbrio. Os setores de cimento e químico são nacionalmente relevantes e reúnem quase 30% das indústrias contempladas no país.



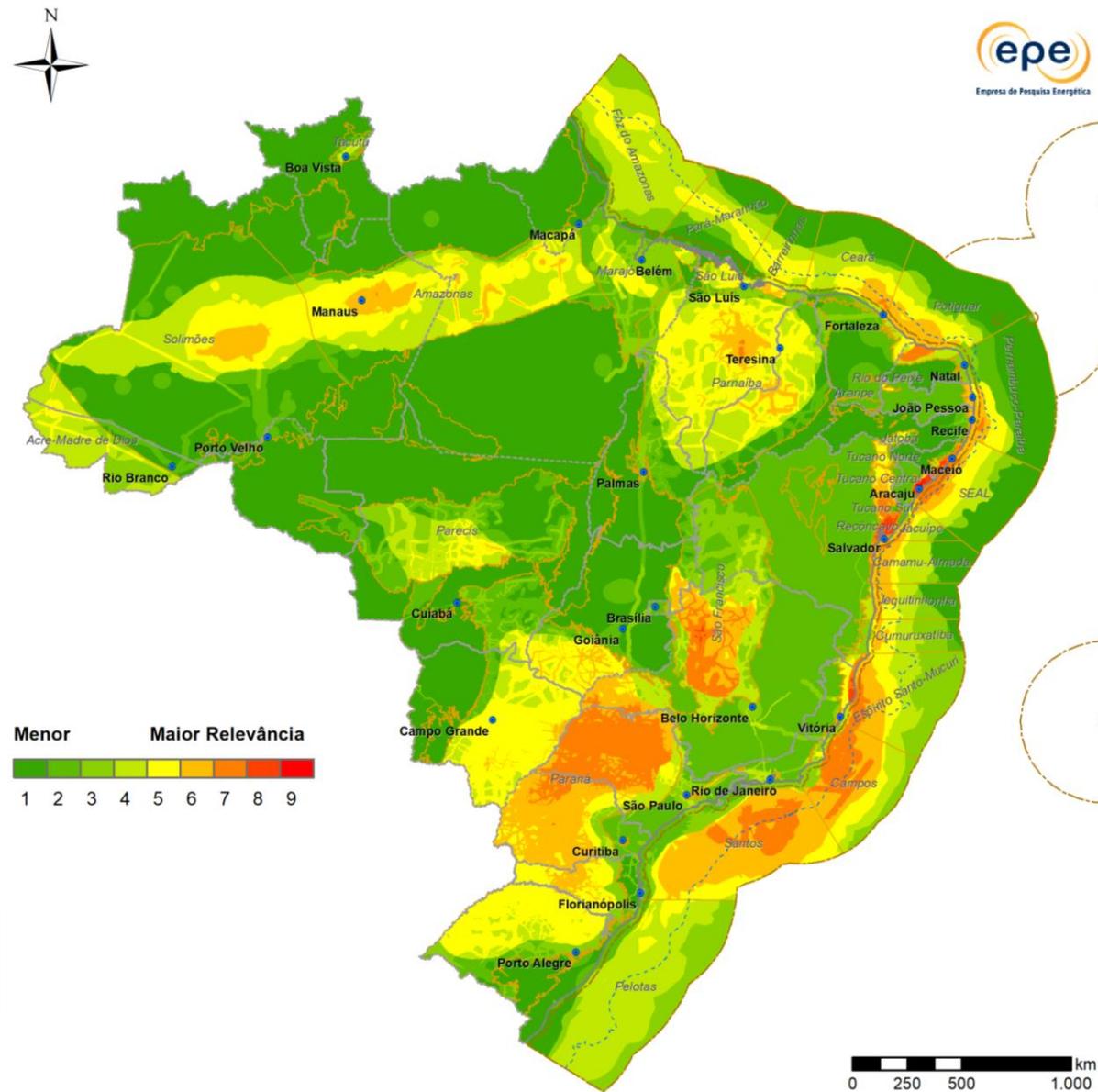
3

O Centro-Oeste reúne 15% do total de potenciais interessadas mapeadas. Com um número de representantes considerados do setor energético (126) bastante próximo ao da região nordeste (134), esse segmento domina o número de indústrias elencadas na região, sendo as usinas de etanol de cana aquelas com a maior participação local (48%), sendo seguidas de perto pelas UTEs a biomassa (46%).

4

Na região sul (10% do total nacional de indústrias consideradas), as UTEs a biomassa dominam regionalmente (53% da região), sendo seguidas pelas usinas de etanol de cana (27%) e UTEs a fósseis (20%). Nacionalmente, os setores petroquímico e de papel e celulose encontram quase 30% de representantes nessa porção. Já a região Norte conta com apenas 4% do total de indústrias e tem destaque regional para mineração de bauxita (57% das indústrias na região).

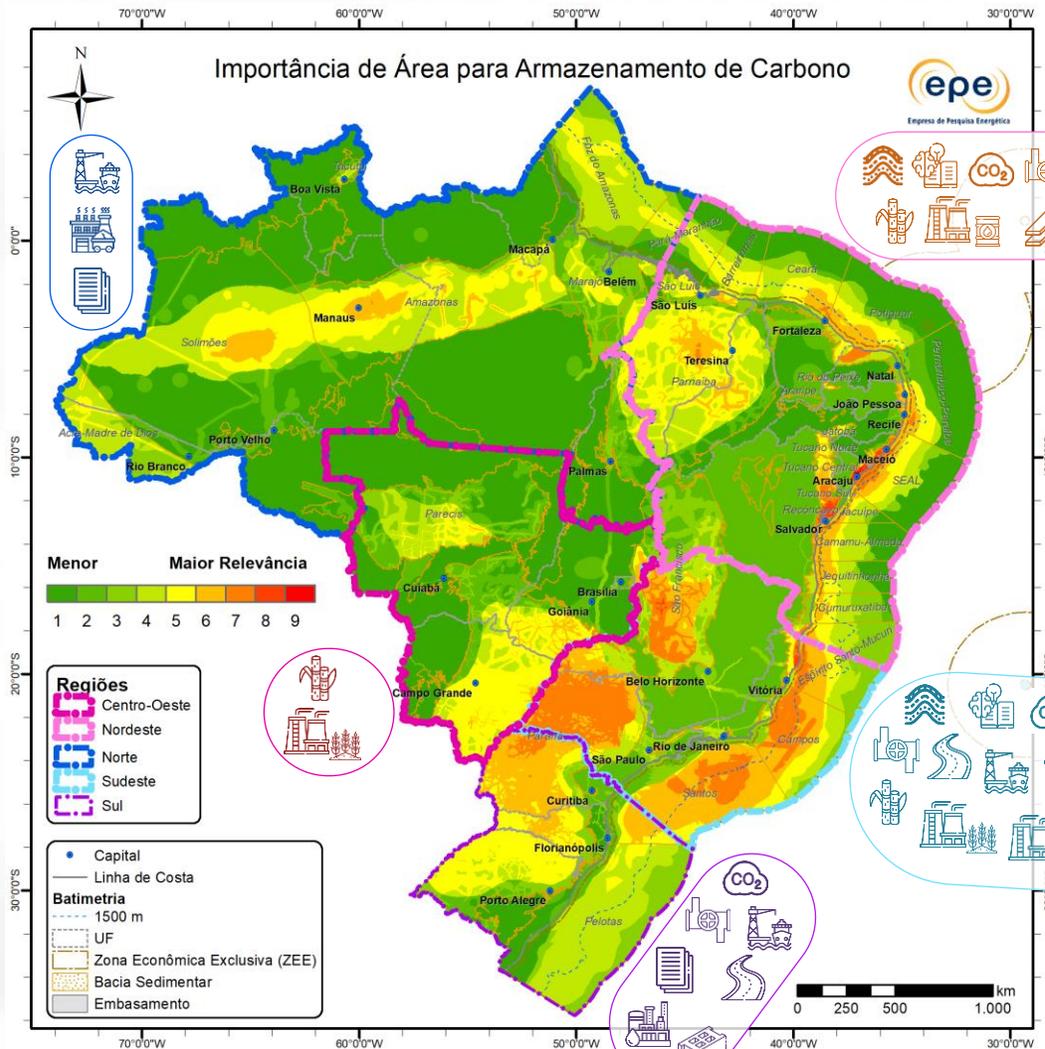
Mapeamento total de áreas relevantes para armazenamento de carbono



Principais destaques do mapeamento total

Fatores mais relevantes por região

-  Reservatórios de O&G favoráveis
-  Conhecimento (estudos Geologia e Geofísica)
-  Emissões de CO₂ (por UF)
-  Infraestrutura
-  Dutos
-  Portos
-  Rodovias e ferrovias
-  Aço
-  Cimento
-  Energia (Usinas etanol de cana)
-  Energia (UTES biomassa)
-  Energia (UTES fósseis)
-  Mineração
-  Papel e celulose
-  Petroquímica
-  Química



As regiões Centro-Sul, e Centro-Oeste são as fortes candidatas para projetos de captura e armazenamento associado ao CO₂ proveniente da biomassa (Bio-CCS ou BECCS) por serem as responsáveis pela maior parte da produção do etanol brasileiro (incluindo milho).

Salienta-se que é fundamental aumentar o arcabouço de conhecimento de bacias como Paraná, Parecis e São Francisco, além de ampliar a infraestrutura de transporte, principalmente para o centro-oeste.

Desafios para o aprimoramento das indicações de áreas relevantes



Diferenciação das características geológicas dos diferentes reservatórios (em termos de litologia, porosidade, permeabilidade, salinidade, profundidade, espessura efetiva, pressão de poros, temperatura, dentre outros)

Mapeamento da capacidade das rochas selantes e mapeamento de falhas e fraturas que possam comprometer a integridade do sítio de armazenamento

Compreensão do efeito do empilhamento de múltiplos reservatórios e camadas selantes

Mapeamento dos reservatórios salinos, em especial, fora das porções investigadas pela indústria de óleo e gás

Reconhecimento dos requisitos necessários para a construção ou adaptação de instalações (em termos de pressão de fluxo, integridade e avaliação do tempo de vida restante)

Detalhamento das emissões pontuais de CO₂ em todo o território nacional ao nível de município

Quantificação da intensidade de carbono das atividades dos principais interessados no mercado de créditos de carbono

Considerações Finais



A **transição** para uma **economia de baixo carbono** é uma **janela de oportunidades** para o setor energético, especialmente o de **óleo e gás**. O domínio de **técnicas e conhecimentos** adquiridos, por décadas, além da formação de uma **mão-de-obra altamente especializada e inovadora**, são essenciais para a **viabilização dos eixos de captura, transporte, armazenamento e uso do CO₂** em excesso na atmosfera e daquele que é inerente às atividades de segmentos cuja descarbonização é técnica ou financeiramente ainda inviável.



A possibilidade de **reaproveitamento de infraestruturas existentes**, após os devidos estudos que avaliem a pertinência desse reuso, e o **compartilhamento de instalações** com outros setores energéticos, que decidam por investir em projetos de armazenamento de carbono, são igualmente **atrativos**.



No mundo, o **número de novos projetos** em desenvolvimento envolvendo a captura e armazenamento de CO₂ **vem crescendo** a uma **taxa** consistente e especialmente **rápida** em virtude dessa **alternativa** ser considerada uma **decisão estratégica** para a **promoção** de uma **transição** energética que permita o **equilíbrio entre redução da pegada de carbono** das atividades com a **garantia de segurança energética e crescimento socioeconômico**.

Considerações Finais



A EPE vem desenvolvendo **estudos** sobre **CCUS**, em suas mais diferentes frentes, e promovendo a divulgação, de forma a **dirimir a assimetria de informações** e **aproximar** os diferentes **stakeholders** da tomada de decisões sobre os rumos dos planejamentos energético, econômico e socioambiental brasileiro.



O mapeamento apresentado neste documento mostra que **é promissor o potencial brasileiro** para desenvolvimento de **projetos de armazenamento geológico de CO₂**. A **base de dados** georreferenciados produzidos para a **composição do mapa** pode ser **acessada**, de forma gratuita e fácil, no seguinte endereço:

<https://dashboard.epe.gov.br/apps/visualizacaoZoneamento/>



O mapeamento realizado **avança** no **detalhamento** da **combinação de informações** já existentes e **contribui** para o ganho de **conhecimento** sobre a **complexidade** dos **fatores** atuais para a indicação de áreas mais favoráveis.

Considerações Finais



A partir dos critérios selecionados, e do conjunto de dados disponíveis, as **regiões sudeste e nordeste destacam-se** pelas **maiores relevâncias** para o estruturamento dos primeiros projetos. Em comum, ambas as regiões possuem **bacias com múltiplas camadas de reservatórios** geológicos potencialmente **favoráveis** ao armazenamento e uma **maior robustez** no **quadro de dados de Geologia e Geofísica** disponíveis. Adicionalmente, ocorre uma **concentração de infraestruturas, instaladas e planejadas**, a **presença** de Estados com as **maiores emissões dos setores de energia e processos industriais**, e, conseqüentemente, a ocorrência de um **mercado interessado por créditos de carbono** – em que os setores de aço, petroquímico e papel e celulose, as usinas termelétricas e de etanol são os maiores destaques.



As **regiões sul e centro-oeste**, embora menos destacadas dentro dos critérios utilizados, possuem os setores agropecuário e sucroenergético mais potentes do país. A **captura do CO₂** proveniente da biomassa produzida pelas atividades desses setores acoplada com o armazenamento geológico de carbono (**Bio-CCS ou BECCS**) possui um **forte apelo** para a **atração de investimentos** em projetos de **armazenamento de carbono** e é uma importante **via** para o **mercado de créditos de carbono** à nível internacional.

Considerações Finais



Entretanto, é **capital aumentar a disponibilidade de dados geológicos e geofísicos**, especialmente por meio de poços e sísmicas de alta resolução, **nas bacias sedimentares fora do eixo Santos e Campos**, com o objetivo de **promover uma melhor identificação e quantificação volumétrica** dos candidatos a **sítios de armazenamento**.



Outro **foco de atenção** deve ser a **infraestrutura**. É **urgente a diversificação dos modos e a expansão para as porções mais interiores** do território nacional. Em paralelo, **devem ser conduzidos estudos** sobre os pré-requisitos necessários para a **decisão** entre o **reaproveitamento** (em termos de pressão de fluxo, integridade e avaliação do tempo de vida restante) ou a **construção de novas instalações**, de forma que critérios de **economicidade** e, sobretudo, de **sustentabilidade ambiental** sejam mutuamente **respeitados**.



Vale destacar que as experiências internacionais mostram que, por mais que desafios técnicos existam, para a eficiente realização das atividades de captura e armazenamento de carbono, o **diálogo objetivo e transparente com a sociedade** é **condição sine qua non** para **viabilizar** os projetos e planos que venham a ser elaborados.



www.epe.gov.br

exploracaoeproducao@epe.gov.br

Empresa de Pesquisa Energética

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Superintendência de Petróleo e Gás Natural

Diretora

Heloisa Borges Bastos Esteves

Coordenação Técnica

Marcos Frederico Farias de Sousa
Marcelo Ferreira Alfradique

Regina Freitas Fernandes
Roberta de Albuquerque Cardoso

Equipe Técnica

Adriana Queiroz Ramos
Camila da Mota Carvalho
Deise dos Santos Trindade Ribeiro
Katia Souza de Almeida
Nathália Oliveira de Castro

Pamela Cardoso Vilela
Péricles de Abreu Brumati
Raul Fagundes Leggieri
Victor Hugo Trocate da Silva

Siga a EPE nas redes sociais:



EPE - Empresa de Pesquisa Energética

Praça Pio X, n. 54 - 2º andar - Centro
20091-040

Rio de Janeiro - Brasil



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO