

RELEVÂNCIA DO SETOR DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Bloco 7

Descarbonização das atividades de refino de petróleo

Rio de Janeiro, RJ - Abril de 2024



Avisos

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

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

Valor Público

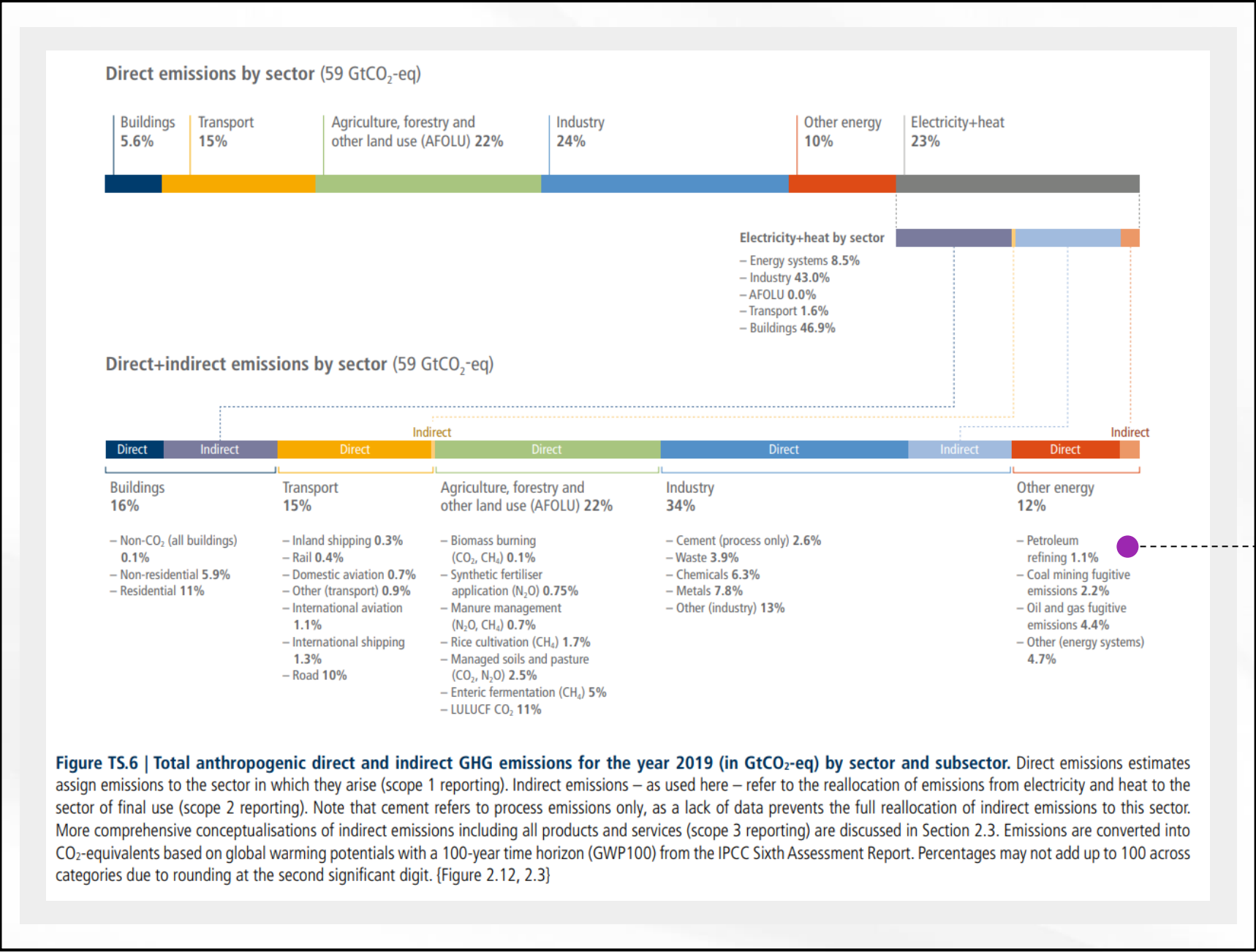
A EPE realiza estudos e pesquisas para subsidiar a formulação, implementação e avaliação da política e do planejamento energético brasileiro.

Com esse estudo, a EPE traz transparência e reduz a assimetria de informação por meio da apresentação de dados e fatos que podem auxiliar os debates acerca dos esforços de transição energética no Brasil.

Neste caderno a EPE consolida e analisa, de forma qualitativa, o potencial de descarbonização das atividades de refino no Brasil.

Contextualização

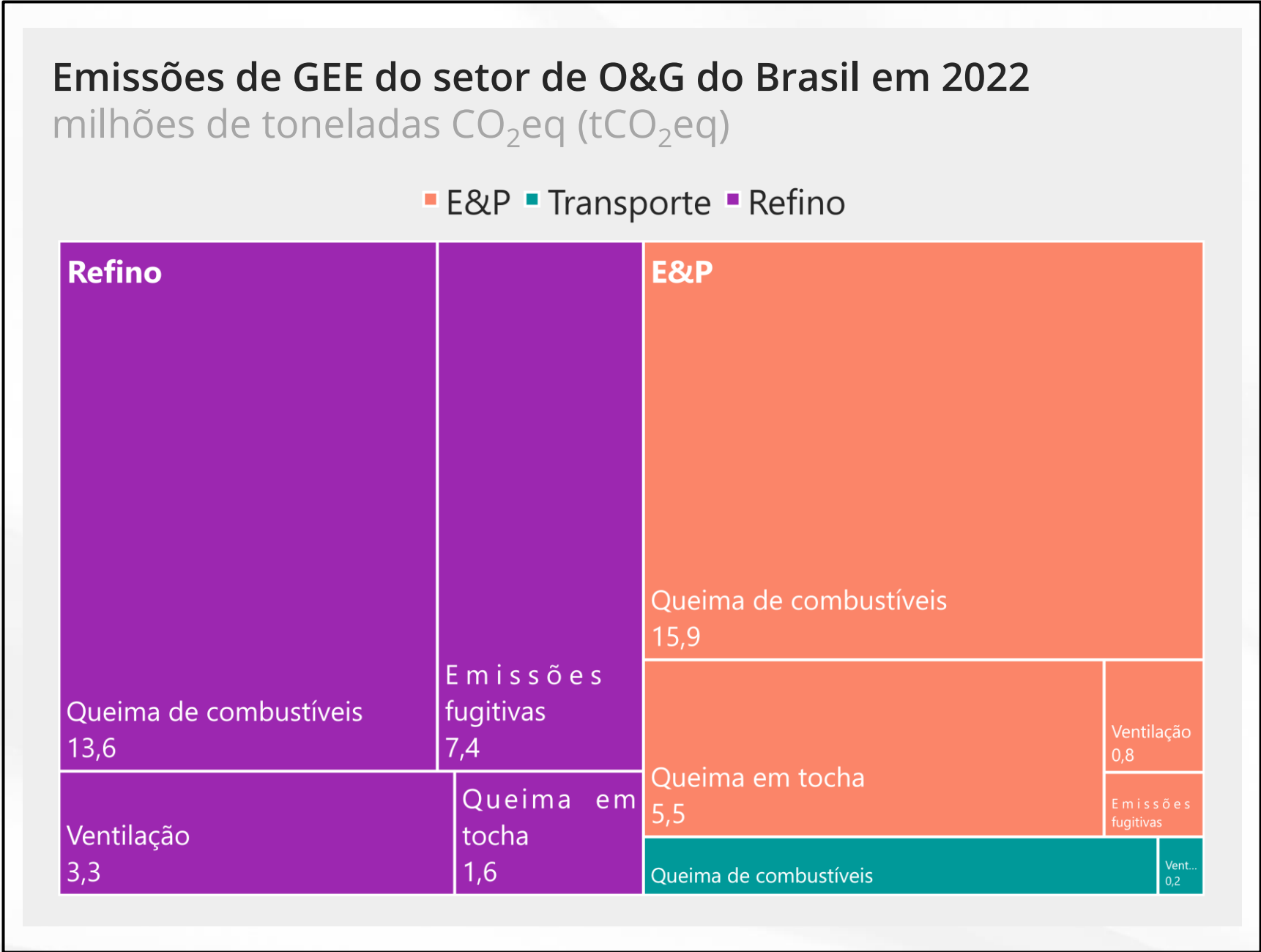
O refino de petróleo é responsável por 1,1% das emissões globais de gases de efeito estufa



- O segmento de refino de petróleo é responsável por uma parcela relativamente pequena (aproximadamente 1%) das emissões antropogênicas totais, diretas e indiretas, de gases de efeito estufa (GEE).
- No entanto, o refino de petróleo é considerado como um dos setores de difícil descarbonização.

Fonte: [IPCC \(2022\)](#).

No Brasil, o refino responde por metade das emissões de gases de efeito estufa do setor de óleo & gás



Fonte: [Observatório do Clima \(2023\)](#).

- A atividade de refino de petróleo é de elevada complexidade, sendo orientada conforme as necessidades de atendimento do mercado e as cargas de petróleo disponíveis.
- A emissão de gases de efeito estufa (GEE) é apenas um dos aspectos de otimização operacional, ambiental e comercial da atividade de refino.
- As referências consultadas indicam diferenças nas quantidades de emissão por fonte. Contudo, em termos qualitativos, as principais fontes (categorias) de emissões no refino são as mesmas.

Fontes de emissão em refinarias

Descrição das principais fontes de emissão em refinarias

Casa de Forças (CAFOR)

A Casa de Forças é responsável pela geração e distribuição de energia às unidades de processo da refinaria, a partir de caldeiras a vapor.

Destilação (UDAV)

As unidades de destilação atmosférica e a vácuo demandam grande quantidade de energia para o aquecimento necessário ao fracionamento de todo o petróleo processado na refinaria.

Craqueamento Catalítico (FCC)

A reação de craqueamento no FCC gera coque que se deposita sobre o catalisador e precisa ser removido de forma contínua. A depender da forma de processo, a regeneração do catalisador do FCC pode ser realizada sob a forma de CO_2 ou CO. Neste último ainda é possível aproveitar energia queimando os gases de regeneração numa caldeira recuperadora chamada de caldeira de CO.

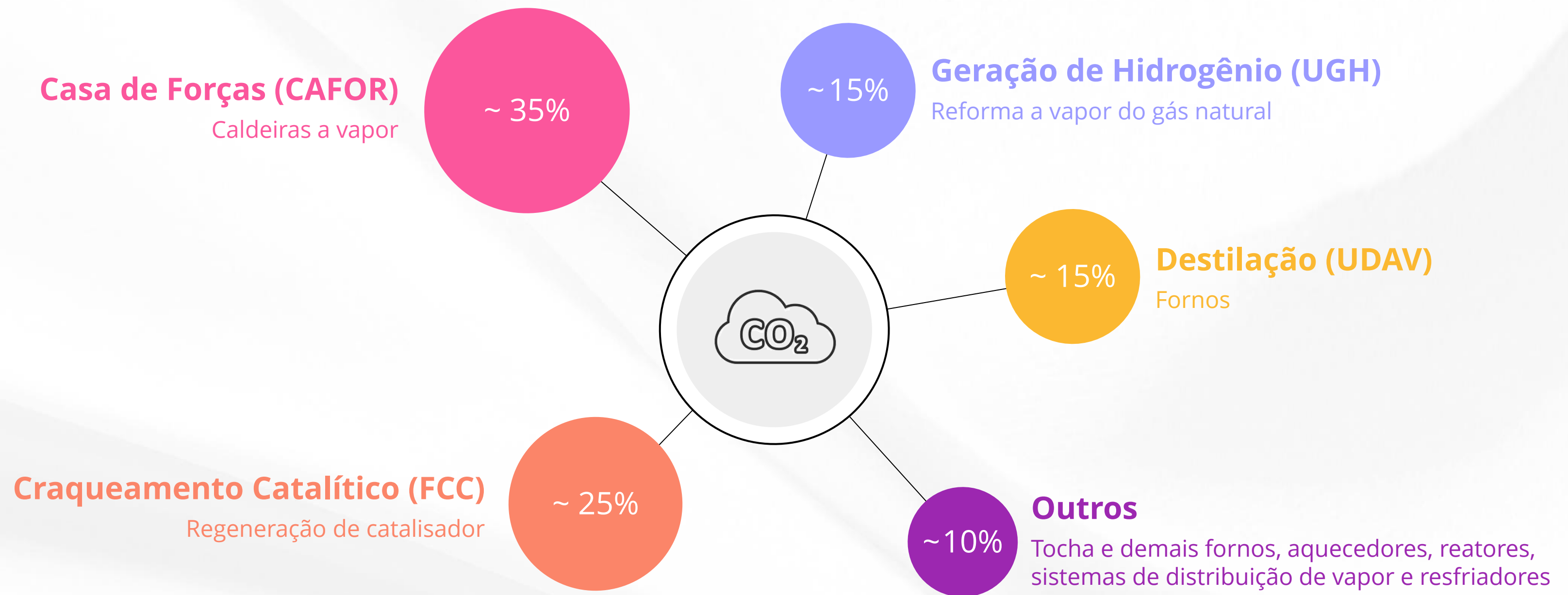
Geração de Hidrogênio (UGH)

O processo de reforma a vapor do gás natural para a produção de hidrogênio em refinarias também gera CO_2 como subproduto.

Tocha

Sistema destinado à queima de gases liberados intermitentemente para segurança operacional de todos os processos e equipamentos. O uso da tocha representa perda do balanço material da refinaria.

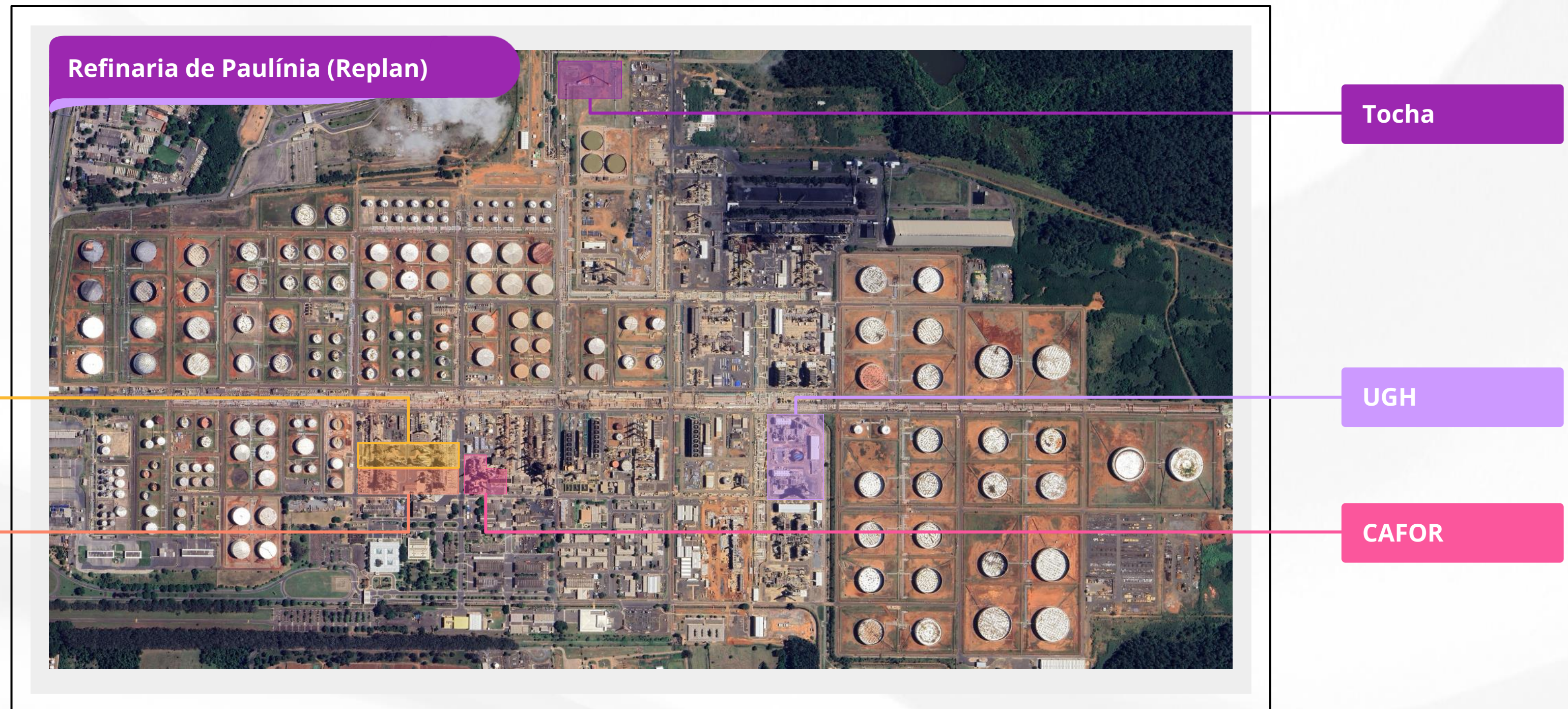
Principais fontes de emissão em refinarias



Nota: O perfil de emissões de gases de efeito estufa pode variar significativamente entre refinarias de petróleo, dependendo especialmente da carga processada e do esquema de refino. Os percentuais exibidos acima representam uma estimativa para o perfil médio de uma refinaria de alta complexidade do tipo *coking*, semelhante ao esquema de refino predominante no Brasil, para uma capacidade de 220 mil barris por dia.

Fonte: [IEAGHG \(2017\)](#).

Grande parte das emissões de uma refinaria está concentrada em poucas unidades operacionais



Nota: A Replan foi escolhida por ser a maior refinaria de petróleo do País, sendo a imagem aérea utilizada apenas de forma a ilustrar a mensagem principal do slide. Imagem: Google.

Alternativas de descarbonização no refino

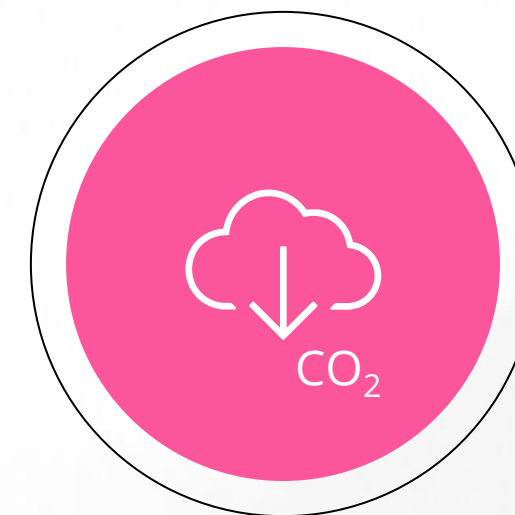
Principais alternativas de descarbonização no refino de petróleo



Eficiência Energética e Operacional



Substituição por Fontes Energéticas de Baixo Carbono

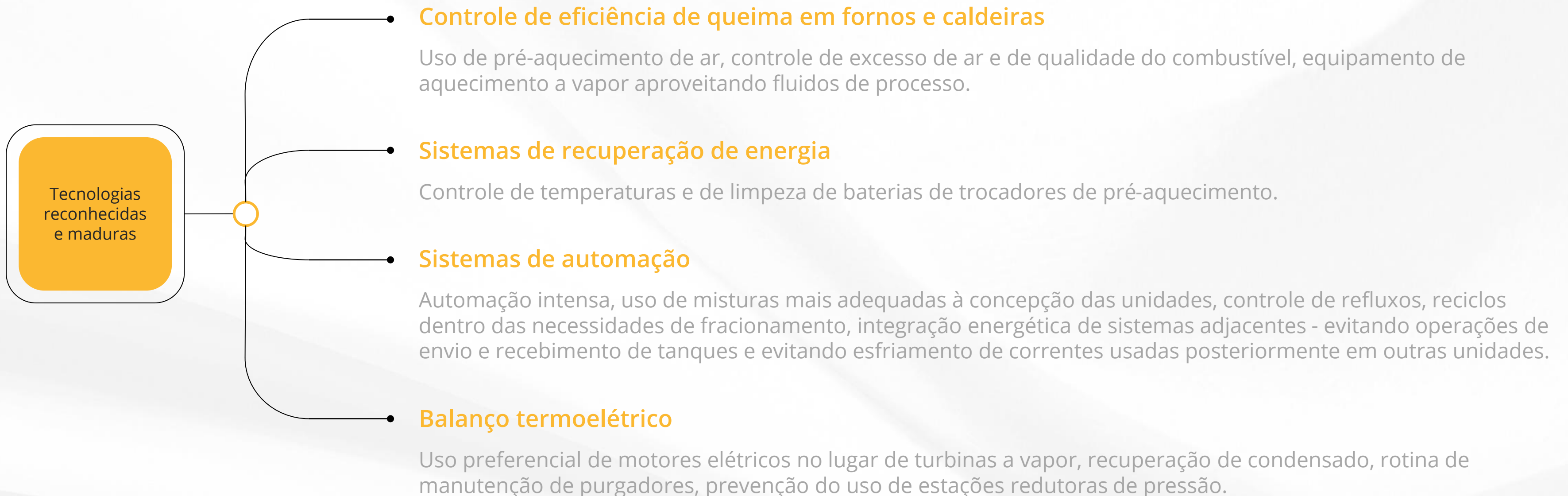


Captura e Armazenamento de Carbono (CCS)

Captura, Uso e Armazenamento de Carbono (CCUS)

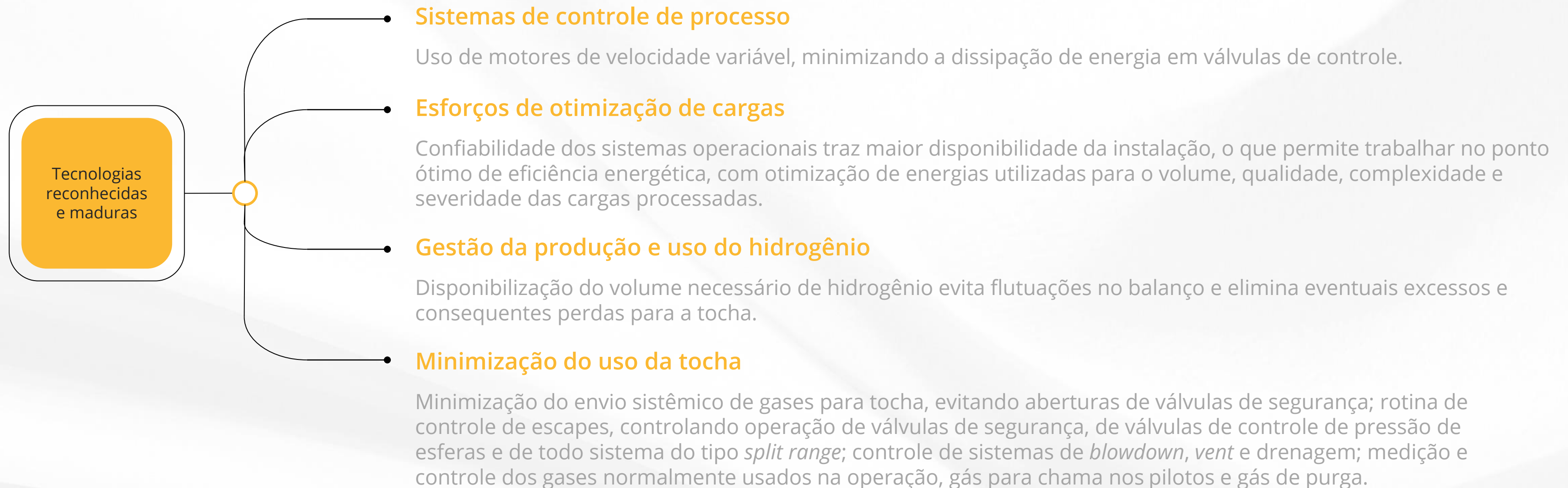
Ações de descarbonização no refino

● Eficiência Energética e Operacional



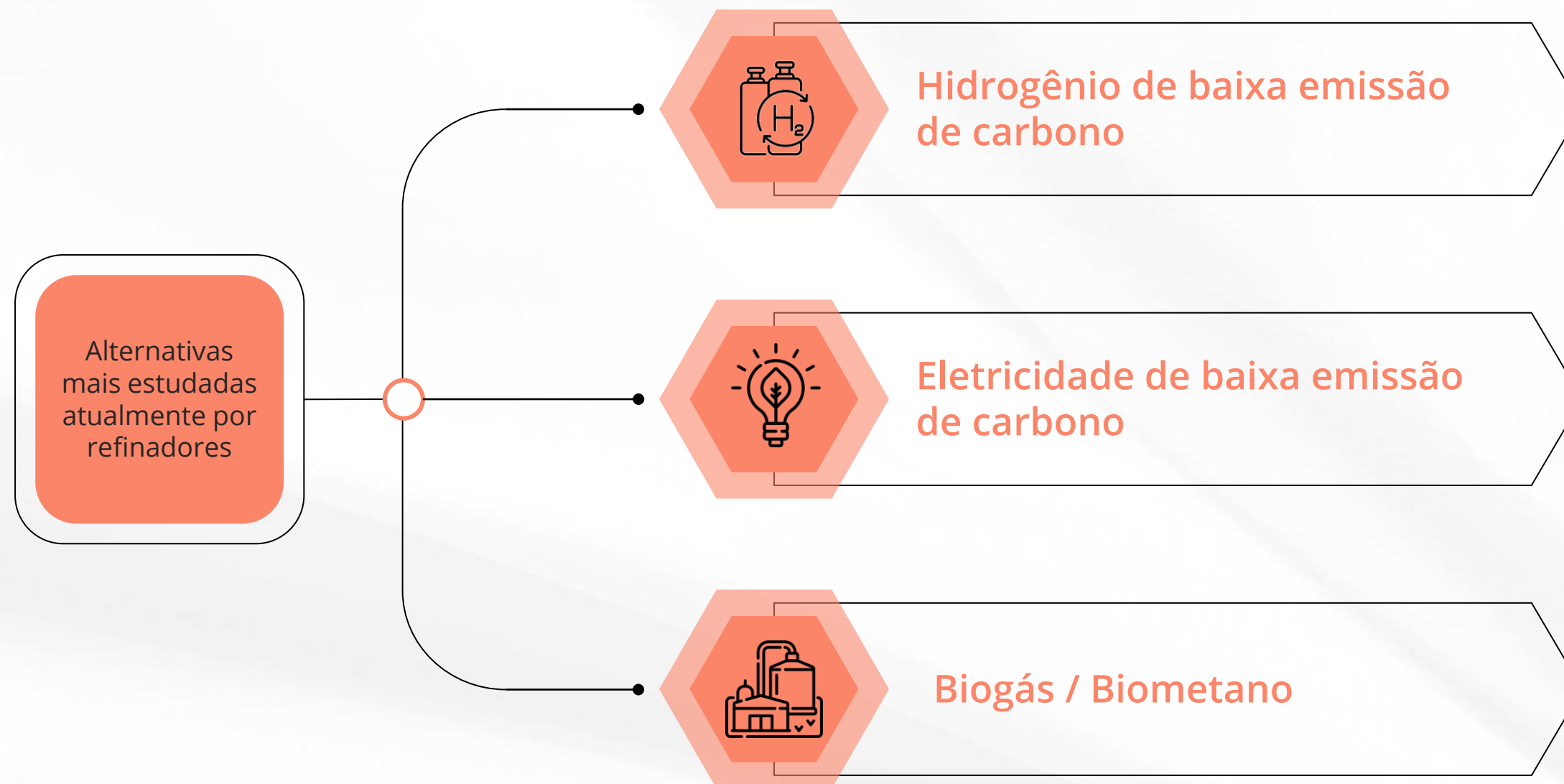
Ações de descarbonização no refino

● Eficiência Energética e Operacional



Ações de descarbonização no refino

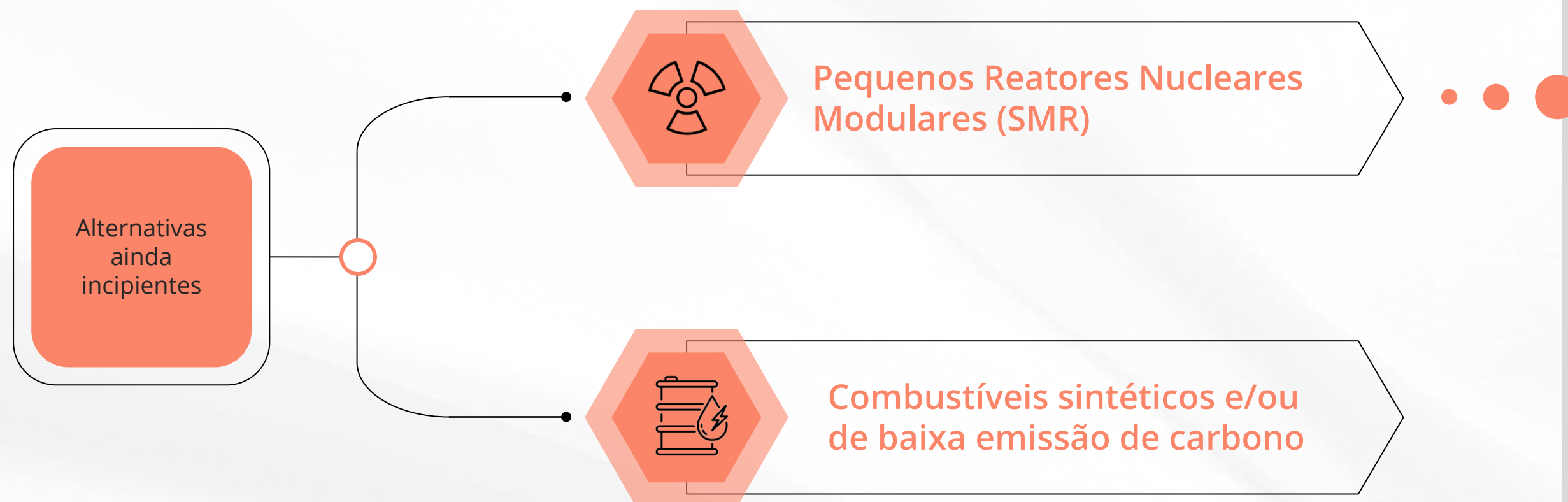
● Substituição por Fontes Energéticas de Baixo Carbono



A substituição de combustíveis convencionais por outros de baixa emissão de carbono exigirá o recálculo dos equipamentos atuais de combustão das refinarias para verificação de capacidade, ajuste de cargas térmicas e adequação de maçaricos, sistemas de automação e de controle (temperatura e vazão de saída do fluido aquecido, vazão de combustível, excesso de ar) e pré-aquecimento de ar. Além disso, possivelmente todos os equipamentos devem sofrer adaptações para adequação de câmaras de radiação e áreas de troca na zona de convecção.

Ações de descarbonização no refino

Substituição por Fontes Energéticas de Baixo Carbono



Alguns refinadores internacionais anunciaram que estão estudando o uso de SMR em suas refinarias.



PROGRESSING GHG REDUCTION INITIATIVES IN OUR BUSINESS PLAN ~\$1 billion capital investment over next 5 years (2023 – 2027)

- Carbon capture and storage (CCS) projects
- Minnedosa Ethanol Plant
 - Elmworth gas plant
 - Pathways foundational pipeline and sequestration hub
 - Lloydminster Upgrader
 - Christina Lake (phase 1)

- Energy efficiency and methane reductions
- Instrument gas to air conversions
 - Facilities systems electrification
 - Near-zero vent designs and vent reductions
 - Offshore power and flare optimization

- Pilots / feasibility studies that enable future reductions
- Small modular nuclear reactors for heat and power
 - Svante carbon capture technology
 - Advanced amines for natural gas combustion flue gas



Ações de descarbonização no refino

Captura, Uso e Armazenamento de Carbono (CCUS)



Alternativa de descarbonização de emissões inerentes ao processo de refino

CCUS consegue endereçar a descarbonização de emissões inerentes ao processo de refino (como no caso da regeneração do catalisador do FCC e da reforma catalítica), que não são solucionadas por ações de eficiência energética e operacional ou pela substituição por fontes de baixo carbono.



Estimativa de custo do CCUS no refino

Estima-se que o custo de implantação varia de **US\$ 160 a 210 por tonelada de CO₂ capturado**, considerando uma eficiência máxima de 90% e custos referentes à tubulação, energia adicional, compressão, interligação e sistema de concentração de CO₂ ([IEAGHG, 2017](#)).



Diferenças de concentração de CO₂

As fontes de CO₂ em uma refinaria variam e, por conseguinte, a qualidade (concentração) do CO₂ produzido. De modo a evitar o esgotamento mais rápido do local de sequestro, pode ser conveniente a instalação de uma unidade absorvedora para melhorar a concentração do gás.

Investimento em sistema de coleta

Necessidade de instalação de sistema de coleta de CO₂/gases de combustão e de novo conjunto de caldeira e gerador na aplicação da tecnologia de CCUS em qualquer tipo de refinaria.

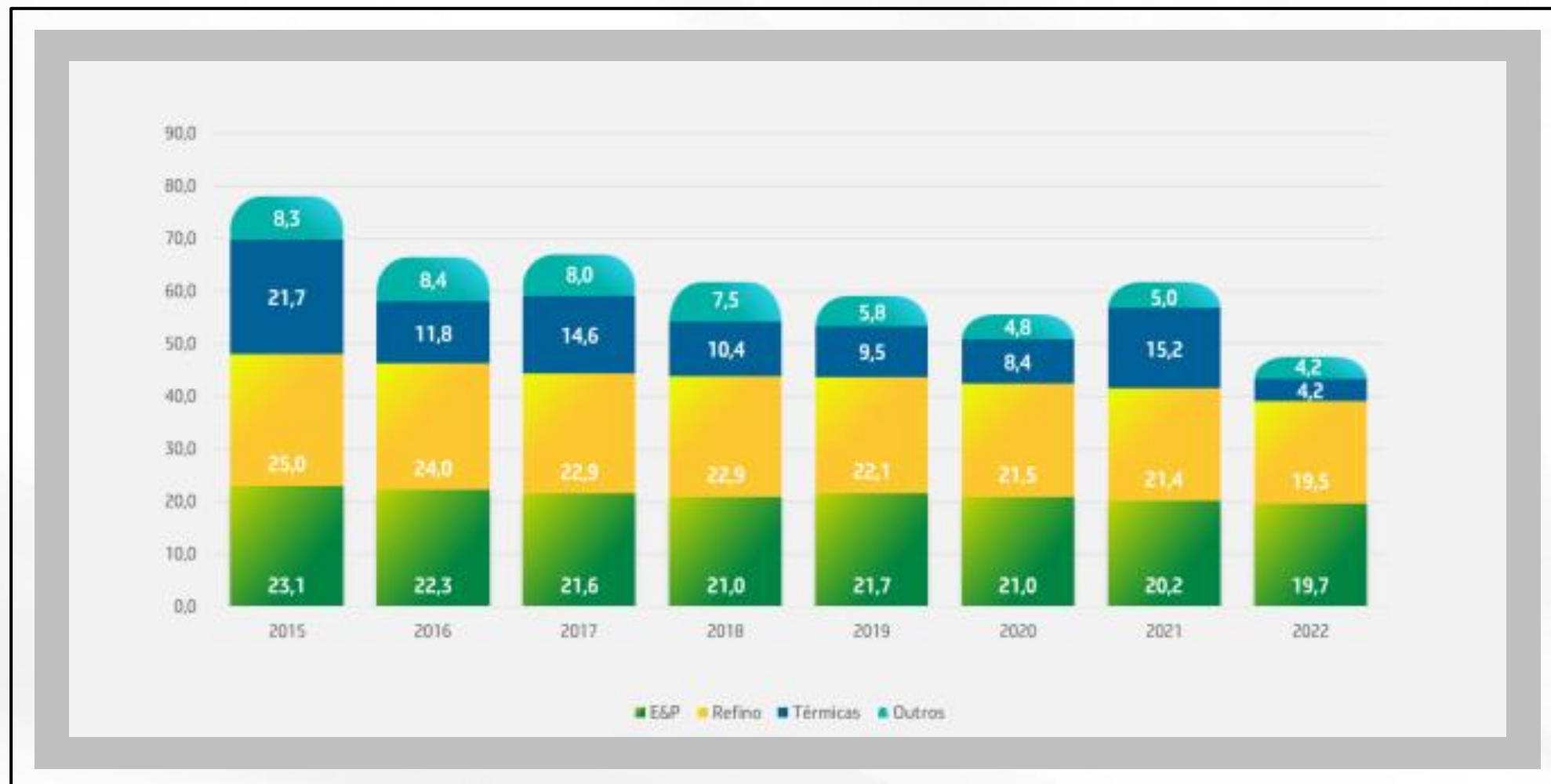
Sistema de tratamento de gases ácidos

O duto de transporte do CO₂ para o sítio de armazenamento pode ser objeto de estudos de ponto de orvalho de gases ácidos (óxidos de enxofre), componentes do gás de combustão. Se essa concentração for alta, pode ser necessário a instalação de sistema de tratamento com MEA ou DEA.

Evolução das emissões no refino nacional

Evolução histórica das emissões de GEE da Petrobras

milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq)



Fonte: [Petrobras \(2023\)](#).

- As emissões de GEE do refino de petróleo da Petrobras possuem ordem de grandeza semelhante às emissões do E&P.
- Considerando apenas as emissões operacionais das atividades de óleo e gás, ou seja, excluindo as emissões das térmicas, observa-se uma tendência de queda contínua ao longo dos últimos anos, atingindo uma redução de 23% entre 2015 e 2022.
- Cabe ressaltar que parte da redução das emissões no segmento de refino de petróleo da Petrobras entre 2021 e 2022 pode estar relacionada à venda da Refinaria de Mataripe.

Programa RefTOP da Petrobras



Objetivos do RefTOP



Posicionar a Petrobras entre os melhores refinadores do mundo em eficiência e desempenho operacional

- A Petrobras almeja alçar o seu parque de refino entre os melhores do mundo (equivalente ao 1º quartil do refino dos EUA) em eficiência operacional e energética até 2030.

Maior geração de valor

- Elevar capacidade de processamento do óleo do pré-sal para 100% em 2025.

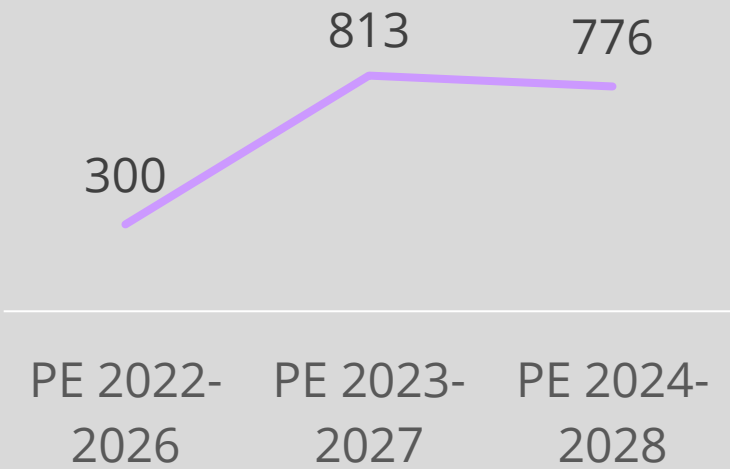
Mais eficiência energética

- Redução da intensidade de emissões para 30 kgCO2eq/CWT¹ até 2030.

Nota: ¹ O CWT representa uma medida de atividade, similar ao UEDC (Utilized Equivalent Distillation Capacity), que considera o potencial de emissão de GEE, em equivalência à destilação, por unidade de processo, permitindo melhor comparabilidade entre refinarias de diferentes complexidades. Este indicador compõe a análise do desempenho em carbono dos ativos em nosso portfólio atual e futuro.

Fonte: [Petrobras \(2023\)](#).

Investimentos previstos no RefTOP nos três últimos Planos Estratégicos (US\$ milhões)



Fonte: [Petrobras \(2021\)](#), [Petrobras \(2022\)](#) e [Petrobras \(2023\)](#).

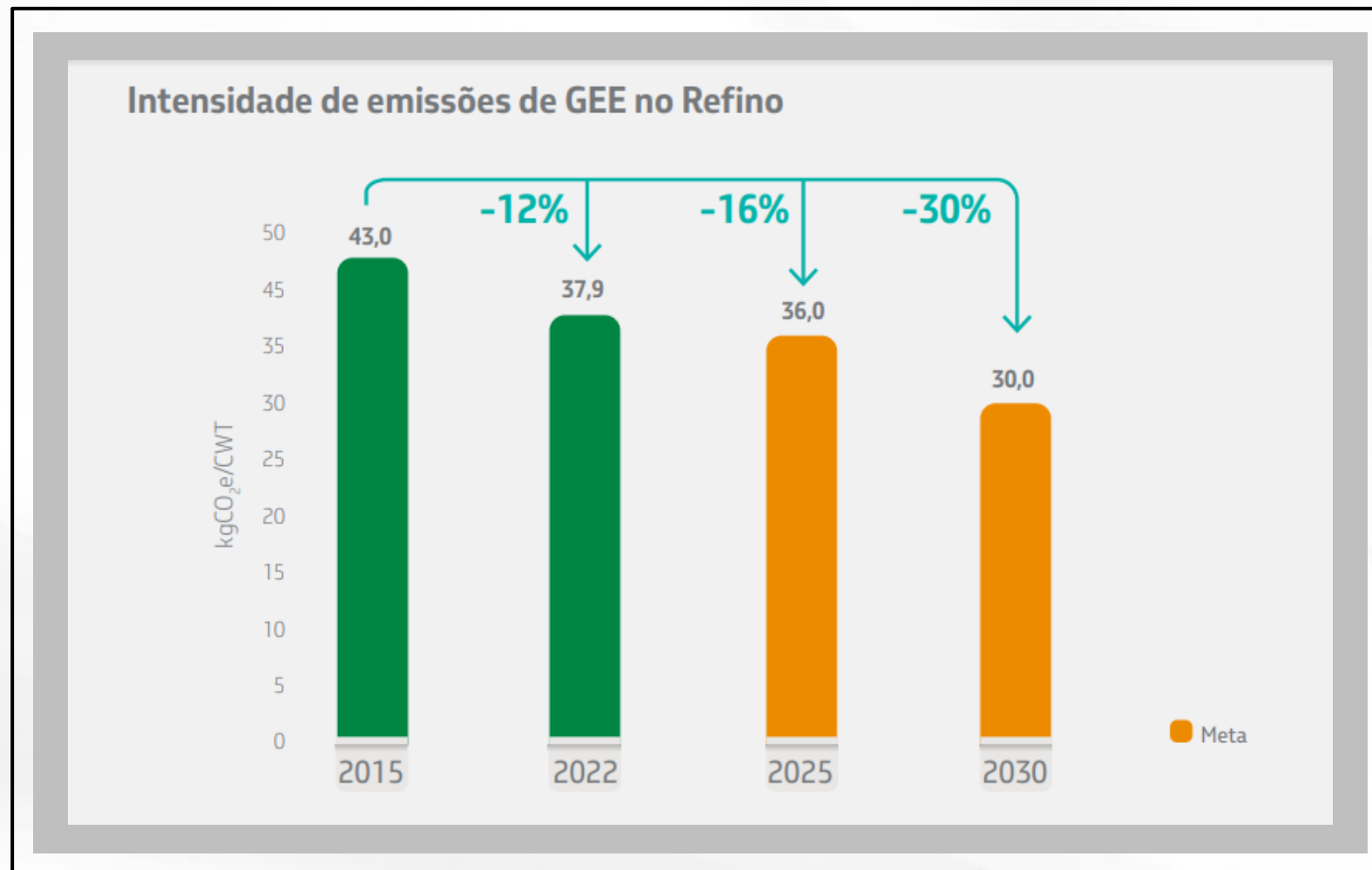
Mais inovação digital

- Ampliar o uso de digital *twins*, inteligência artificial, robotização e drones.

Maior confiabilidade

- Disponibilidade operacional superior a 97% em 2025.

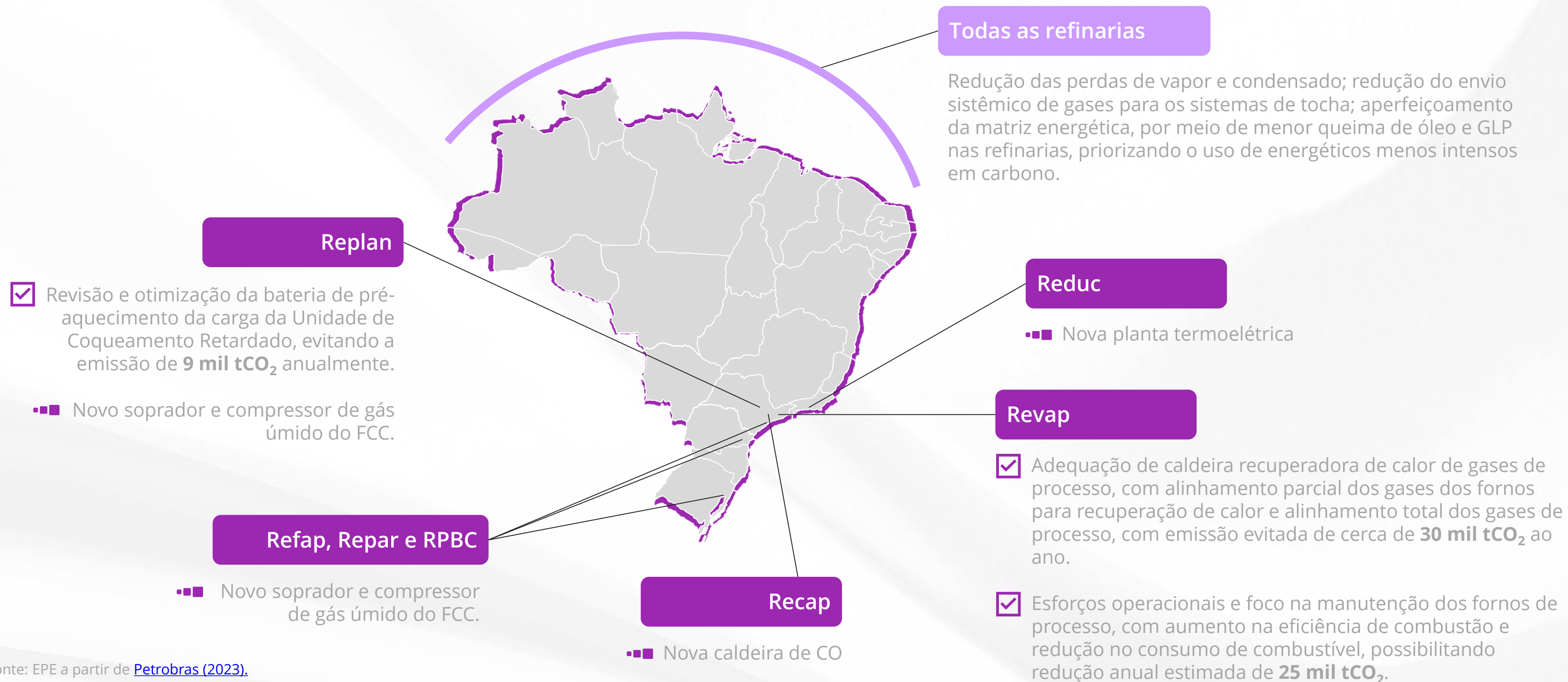
Meta de redução da intensidade de emissões do Programa RefTOP



Fonte: [Petrobras \(2023\)](#).

- A Petrobras estabeleceu a meta de reduzir 16% na intensidade de emissões de GEE (IGEE) no refino até 2025 (36 kgCO₂e/CWT), ampliando para 30% até 2030 (30 kgCO₂e/CWT), tendo como base o desempenho de 2015.
- A empresa destaca que as ações de redução de IGEE também trazem ganhos na redução de emissões de outros gases (material particulado, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio).
- Em 2022, o IGEE do refino da Petrobras, com esforços adicionais, seguiu a trajetória de redução dos últimos anos, atingindo 37,9 kgCO₂e/CWT.

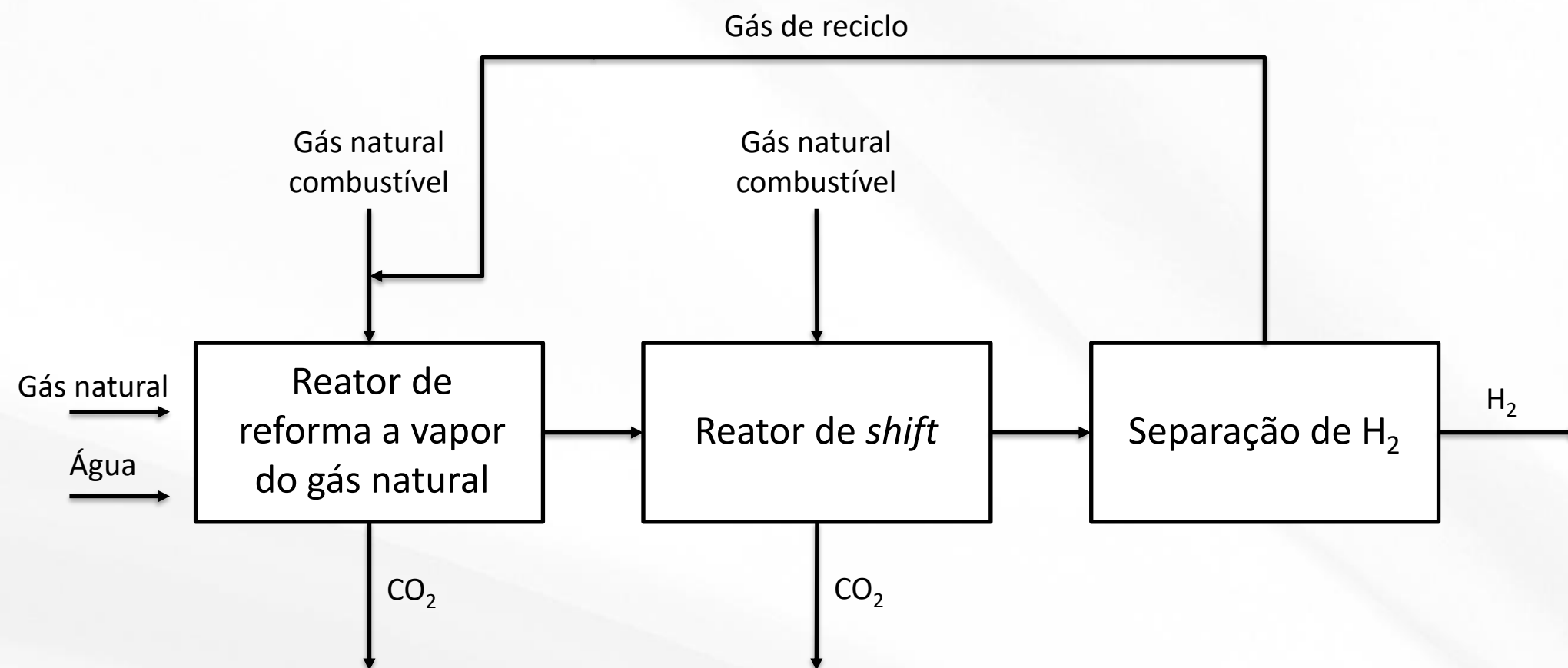
Exemplos de ações de descarbonização no âmbito do RefTOP



Potencial de redução de emissões no refino nacional

Potencial de redução de emissões no refino

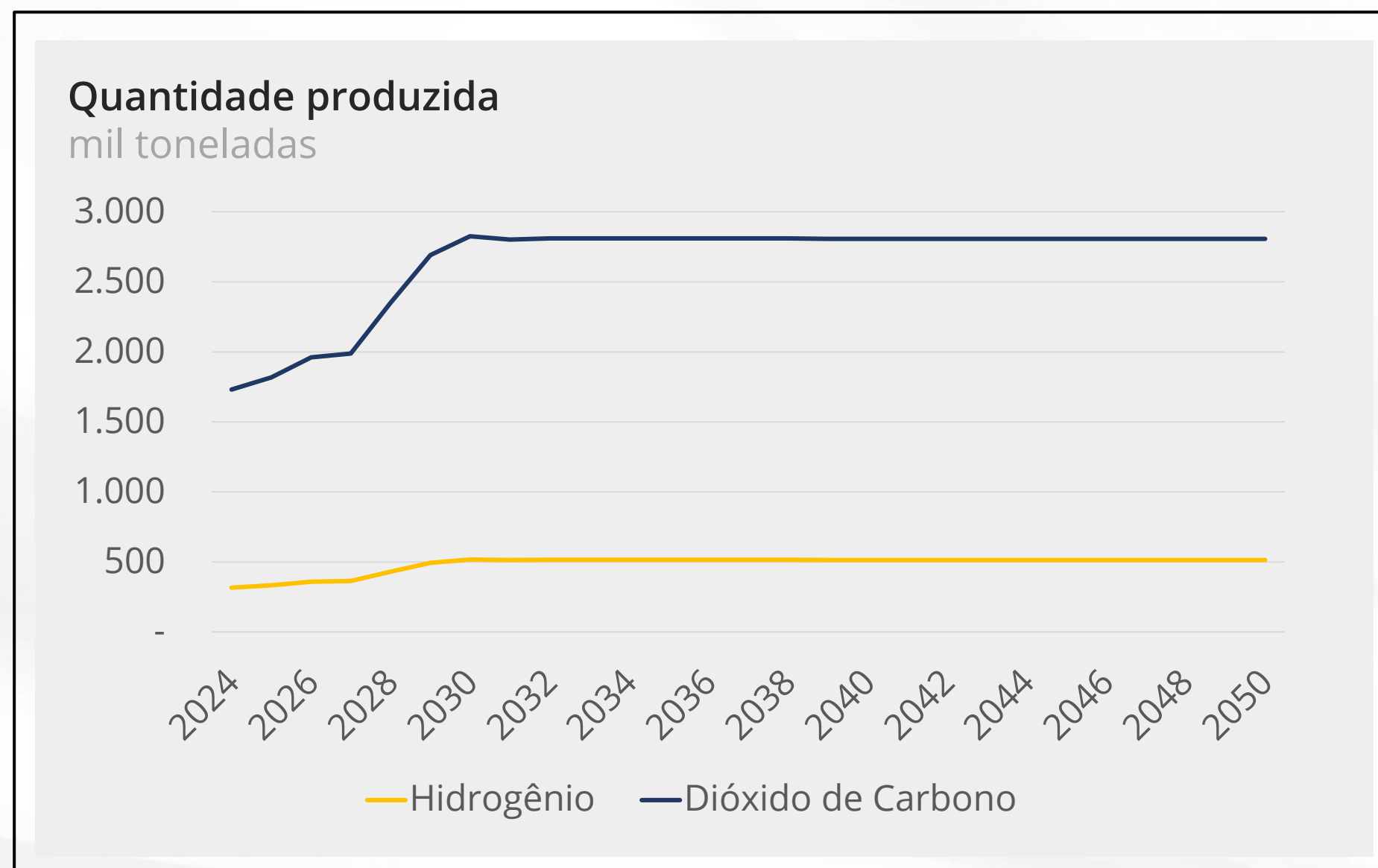
Esquema simplificado de uma Unidade de Geração de Hidrogênio (UGH)



- A Unidade de Geração de Hidrogênio (UGH) gera hidrogênio por meio do processo de reforma a vapor do gás natural para a produção de hidrogênio, também gerando CO₂ como subproduto.
- Frisa-se que o CO₂ aqui representado é apenas produto da reação de reforma a vapor do metano, não levando-se em conta o gás natural utilizado como combustível para que os reatores atinjam suas temperaturas de operação.

Potencial de redução de emissões no refino

Captura, Uso e Armazenamento de Carbono (CCUS)

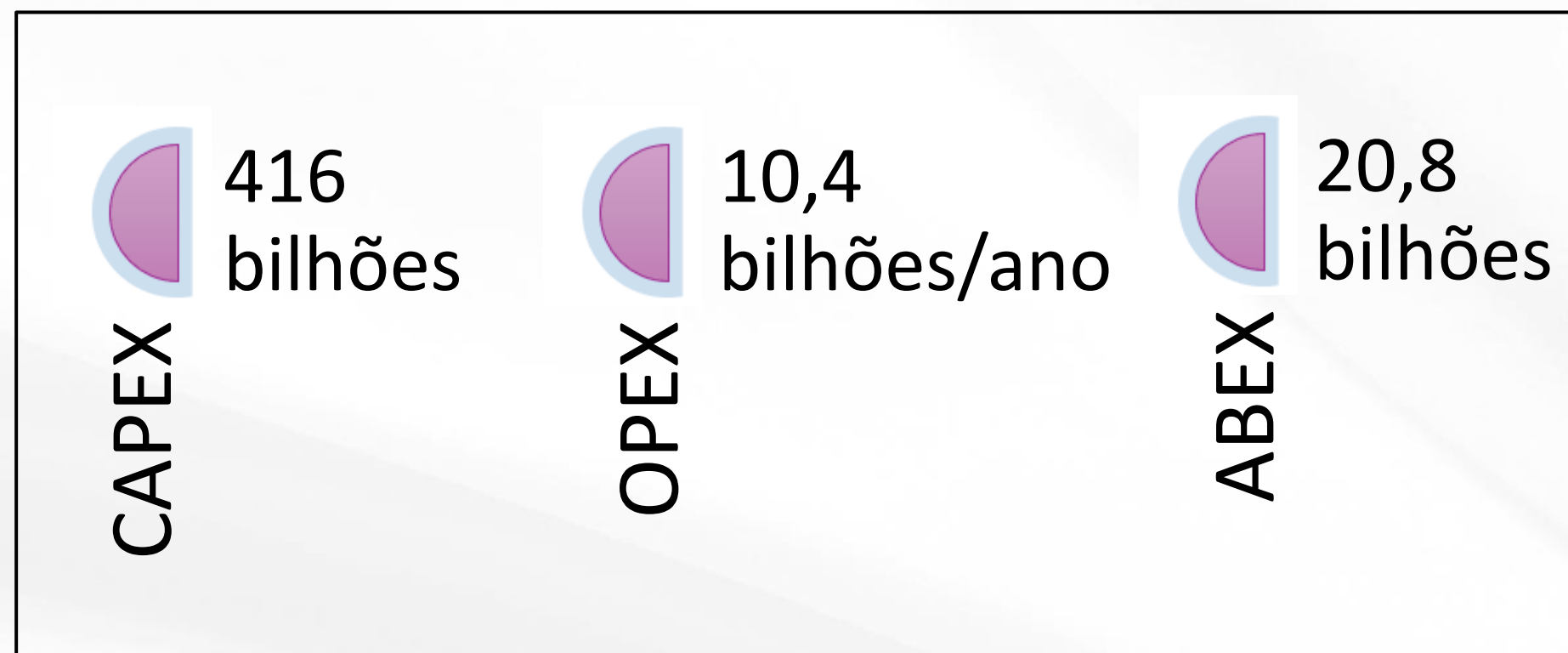


- Estimativas realizadas a partir de estudos internos realizados pela EPE.
- Considerando-se a totalidade das unidades com UGHs existentes, a produção de H_2 pelo parque de refino nacional atinge **515 mil toneladas em 2050**, com a geração de CO_2 (como subproduto) na ordem de **2.810 mil toneladas**.
- Caso unidades de CCUS ou geração de hidrogênio por eletrólise fossem implementadas, o volume do CO_2 como produto da reação de reforma a vapor (**2.810 mil toneladas**) deixaria de ser emitido.
- O uso de biometano é uma alternativa de carga para a UGH, como uma fonte de baixa emissão de carbono em substituição ao gás natural.

Potencial de redução de emissões no refino

Custos - Captura, Uso e Armazenamento de Carbono (CCUS)

Custo
Em US\$

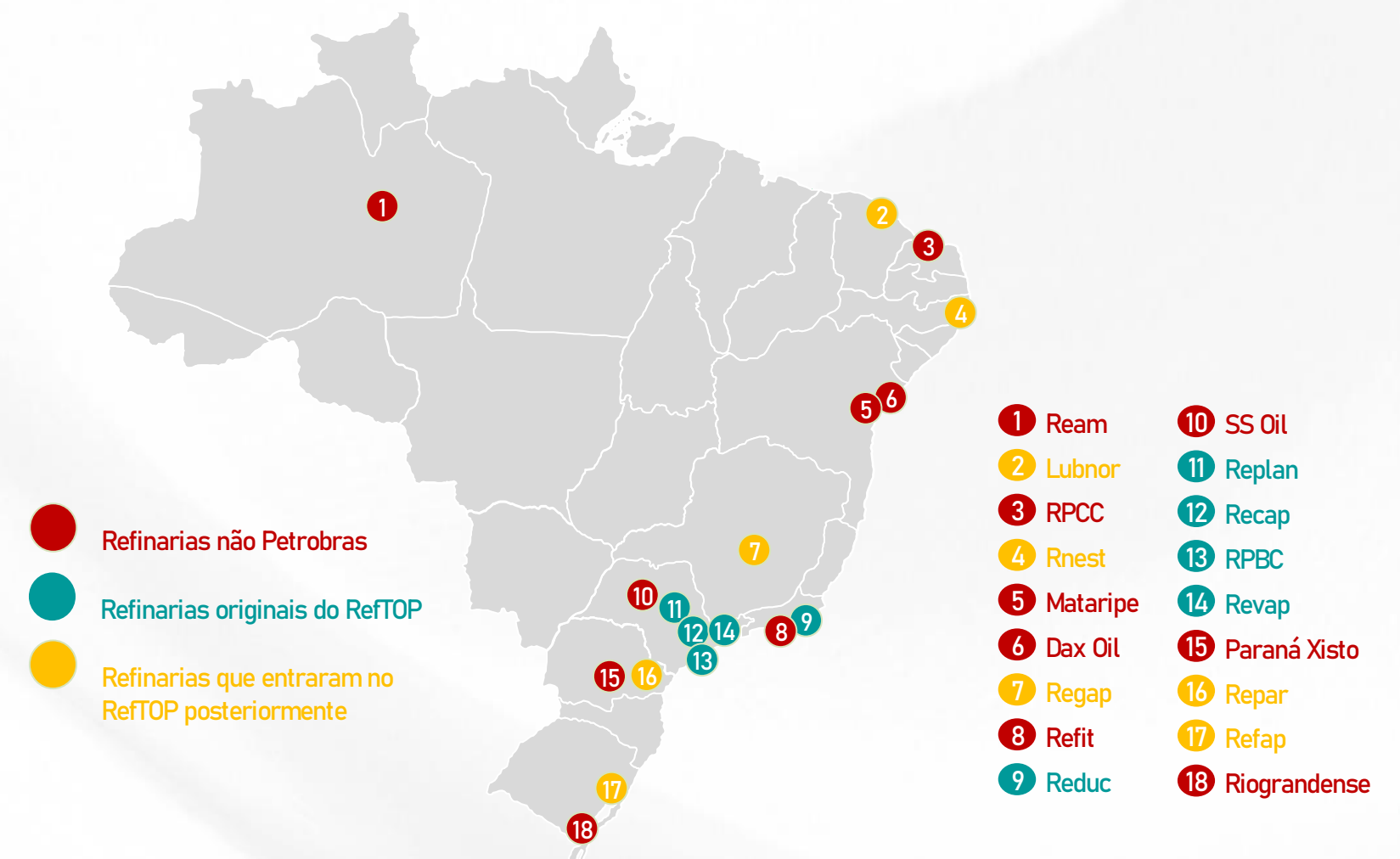


- Com dados extraídos de [EPE \(2022\)](#), estima-se que o custo necessário para capturar o CO₂ gerado apenas na reação de reforma a vapor nas refinarias brasileiras seria:
 - Investimento na construção das unidades – CAPEX: **US\$ 416 bilhões**
 - OPEX (a.a.)
 - Manutenção das unidades: **US\$ 6,2 bilhões**
 - Produtos químicos, catalisador, etc.: **US\$ 4,2 bilhões**
 - Custo de abandono das unidades – ABEX: **US\$ 20,8 bilhões**
- Destaca-se que não estão presentes nessas estimativas a construção do duto para transporte do CO₂ capturado e nem os custos relativos ao armazenamento deste gás.

Potencial de redução de emissões no refino

Expansão do Programa RefTOP para todo o parque Petrobras

- A ampliação das ações do Programa RefTOP para as refinarias ainda não incluídas no programa pode representar um potencial de redução de emissões do parque de refino da Petrobras.
- Estima-se uma potencial redução de 10 kg CO₂eq/CWT com a expansão do RefTOP a todo parque da Petrobras.
- Esta estimativa considera:
 - as cargas processadas;
 - as complexidades das refinarias não incluídas;
 - as dificuldades para captura e concentração de gases de combustão;
 - atraso em relação àquelas que iniciaram o trabalho preliminarmente;
 - curva de aprendizado na implantação das medidas de mitigação.



Considerações finais

Considerações finais

Pensar a participação do segmento do refino no total de emissões de GEE é relevante sob a perspectiva da transição energética e rumo ao futuro sustentável.

A descarbonização do refino, embora possa ser realizada em parte com melhorias em eficiência energética e operacional, depende da maturidade das tecnologias a serem aplicadas nos processos industriais.

Apesar do aumento no percentual de tecnologias de descarbonização disponíveis no mercado, é necessário um esforço em diferentes áreas para desenvolver inovações que estão em estágio de maturação.

A substituição de combustíveis convencionais por alternativas com menor Intensidade de Carbono pode demandar alterações de processo, considerando condições locais do empreendimento.

Descarbonizar por meio de CCS (Carbon Capture and Storage) e CCUS (Carbon Capture, Usage and Storage), que são tecnologias de sequestro de carbono, pode resolver questões complexas impossíveis de solucionar de modo convencional.

As tecnologias de CCS e CCUS exigem investimentos vultosos, incluindo coleta, armazenamento, concentração e expedição.

Projetos para geração de energia a partir de fontes de baixa emissão de carbono podem requerer grandes infraestruturas, operação de rede industrial e captação de recursos em larga escala, aspectos que são inerentes à experiência adquirida pela indústria de O&G.

Considerações finais

- O Programa RefTOP com suas ações de eficiência energética e operacional, aplicada atualmente a cinco refinarias, apresenta potencial redução de emissões. A anunciada expansão do programa para todo o parque de refino da Petrobras pode representar uma **redução adicional de 10 kg CO₂eq/CWT até 2050**.
- **Em 2050**, estimativas indicam que a produção de H₂ atinge **515 mil toneladas**, com a geração de CO₂ (como subproduto) na ordem de **2.800 mil toneladas CO₂** na totalidade das refinarias com Unidades Geradoras de Hidrogênio (UGH) existentes. Caso sejam implementadas unidades de CCS/CCUS ou a geração de hidrogênio seja feita por fontes renováveis nessas refinarias, **não haveria emissões de CO₂ neste montante**.
- O investimento para construção das unidades de captura do CO₂ produzido nas UGH é estimado em **US\$ 415,6 bilhões**, com custos anuais de operação de **US\$ 10,4 bilhões**.
- A simples economicidade/contabilidade direta por meio dos custos pode limitar e ressaltar os desafios para a descarbonização do parque de refino nacional no curto e médio prazo. Outros aspectos, como a crescente contestação do destino da indústria petrolífera devido às mudanças climáticas estão contribuindo para redesenhar o futuro a partir de redirecionamentos estratégicos em investimentos capazes de, ainda que parcialmente, alterar o nível de emissões líquidas.
- Maior clareza no papel dos ativos no futuro descarbonizado pode oportunizá-los em portfólio de interesse de investidores com atenção especial para um futuro com emissões neutras ou próximas do *net zero*.



Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

Equipe Técnica

Ernesto Ferreira Martins
Filipe de Padua F. Silva
Gabriel da Silva A. Jorge

Marcelo C. B. Cavalcanti
Patrícia F. B. Stelling

Siga a **EPE** nas redes sociais:



EPE - Empresa de Pesquisa Energética

Praça Pio X, n.º 54, 5º andar - Centro
20.091-040
Rio de Janeiro/RJ - Brasil

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

