

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL  
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA

# ESTUDO SETORIAL DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIA AMÔNIA

2025

E  
D  
I  
T  
O  
R  
A  
  
B  
R  
A  
S  
I  
L  
  
B  
I  
O  
M  
A  
S  
S  
A



BIOMASSA SUSTENTÁVEL HIDROGÊNIO  
BIOCARVÃO ARMAZENAMENTO CARBONO  
CENÁRIO NETZERO DESCARBONIZAÇÃO

# SUMÁRIO EXECUTIVO

## ESTUDO SETORIAL DESCARBONIZAÇÃO INDUSTRIAL AMÔNIA

BIOMASSA COM CAPTURA E ARMAZENAMENTO CARBONO –  
BIOCARBONO/BIOCARVÃO ENERGÉTICO BIOGÁS/BIOMETANO –  
HIDROGÊNIO VERDE BAIXO CARBONO

I. Declarações Prospectivas.....27

II. Diretrizes Gerais do Estudo Setorial de Descarbonização das Indústrias de Produção da Amônia.....29

Capítulo 1 Descarbonização Industrial Processo Produção Amônia.. .....64

Seção 1 Mercado Internacional da Amônia.....64

1.1. Mercado Mundial de Amônia

1.1.1. Tendência do Mercado de Amônia

1.1.2. Fatores de Crescimento do Mercado de Amônia

1.1.2.1. Aumento da Demanda no Setor de Refrigeração

1.1.2.2. Aumento do uso de amônia como biocombustível

1.1.3. Drivers, oportunidades e restrições do Mercado da Amônia

1.1.4. Diretrizes Gerais do Mercado de Amônia

1.1.4.1. Segmentação do Mercado de Amônia

1.1.5. Percepções Regionais de Mercado de Amônia

- 1.1.5.1. Tamanho do mercado de Amônia da Ásia Pacífico
- 1.1.5.2. Tamanho do mercado de Amônia da União Europeia
- 1.1.5.3. Tamanho do mercado de Amônia da América do Norte
- 1.1.5.4. Tamanho do mercado de Amônia da América Latina.
- 1.1.5.5. Tamanho do mercado de Amônia do Oriente Médio e África
- 1.1.6. Principais Desenvolvimento da Indústria de Amônia

Seção 2 Mercado Brasileiro de Amônia.....84

1.2. Mercado Brasileiro da Amônia

1.2.1. Fatores de Crescimento do Mercado de Amônia no Brasil

1.2.1.1. Crescente Demanda por Fertilizantes Neutros em Carbono

1.2.1.2. Iniciativas de Descarbonização no Transporte Marítimo

1.2.1.3. Expansão da Economia do Hidrogênio Verde

1.2.1.4. Políticas e incentivos governamentais de apoio - Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

1.2.1.5. Aumento da Demanda por Armazenamento de Energia Limpa e Geração de Energia

1.2.1.6. Soluções para o fim da Dependência do Brasil de Fertilizantes Importados

1.2.1.7. Amônia verde: redução da dependência e sustentabilidade no agronegócio

1.2.2. Perspectivas do Mercado de Produção de Amônia no Brasil

- 1.2.2.1. Interesse crescente em tecnologia de eletrolisadores para produção eficiente
- 1.2.2.2. Integração de Amônia Verde em Células de Combustível Movidas a Amônia
- 1.2.2.3. Adoção de Amônia Verde na Descarbonização de Processos Industriais
- 1.2.2.4. Investimentos em Instalações de Produção de Amônia Verde e Infraestrutura
- 1.2.2.5. Parcerias e Alianças Estratégicas em Projetos de Amônia Verde
- 1.2.3. Desafios do Mercado Brasileiro de Amônia Verde
  - 1.2.3.1. Altos Custos de Produção Comparados à Amônia Convencional
  - 1.2.3.2. Limitações de Infraestrutura e Armazenamento
  - 1.2.3.3. Desafios técnicos e de segurança no manuseio de amônia
  - 1.2.3.4. Concorrência de outros combustíveis renováveis e soluções de armazenamento de energia
  - 1.2.3.5. Barreiras Regulatórias e de Mercado
- 1.2.4. Aplicações e Demanda do Mercado Brasileiro de Amônia Verde
  - 1.2.4.1. Agricultura e Fertilizantes
  - 1.2.4.2. Transporte Marítimo
  - 1.2.4.3. Armazenamento de Energia e Geração de Energia
  - 1.2.4.4. Matéria-prima industrial
  - 1.2.4.5. Pesquisa e Desenvolvimento

1.2.5. Macrolocalização e Quantitativo de empresas do setor industrial de Amônia no Brasil

1.2.5.1. Macrolocalização e Quantitativo de empresas setor industrial de Amônia por Estados no Brasil

1.2.5.2. Macrolocalização e Quantitativo de empresas setor industrial de Amônia maiores municípios no Brasil

1.2.5.3. Porte empresarial das empresas do setor industrial de Amônia no Brasil

Seção 3 Diretrizes Gerais da Produção Industrial Amônia Fertilizantes .....98

1.3. Indústria de Amônia

1.3.1. Diretrizes Gerais da Amônia

1.3.2. Processos Haber Bosch de Alta Pressão Alimentados por Metano e Acionados Eletricamente

1.3.3. Processo Haber Bosch e a Produção de Amônia sem Carbono

1.3.4. Tecnologias de Produção de Amônia

1.3.5. Processo Convencional de Produção de Amônia.

1.3.5.1. Tipos de Produção da Amônia

1.3.5.2. Processo Atual de Produção de Amônia Marrom

1.3.5.3. Produção de Amônia Azul

1.3.5.4. Produção de amônia verde

1.3.5.5. Novos Métodos para Síntese de Amônia Verde.

1.3.6. Aumento do uso de amônia como biocombustível	
1.3.7. Uso de Amônia e Desafios	
1.3.8. Emissões CO2 Indústrias de Amônia	
1.3.9. Eletrificação do setor industrial de Amônia	
1.3.10. Bioeletricidade Biomassa para Descarbonização Indústrias de Amônia	
Capítulo 2 Estratégias Fundamentais Descarbonização Industrial.....	135
Seção 1 Combustíveis Fósseis na Produção Industrial.....	135
2.1. Diretrizes Gerais dos Problemas Climáticos	
2.1.1. Uso Excessivo Combustíveis Fósseis	
2.1.1.1. Óleo ou petróleo bruto	
2.1.1.2. Carvão Mineral	
2.1.1.3. Gás fraturado (natural)	
2.1.1.4. Desvantagens dos combustíveis fósseis	
2.1.1.4.1. Degradação da terra	
2.1.1.4.2. Poluição da água	
2.1.1.4.3. Emissões	
2.1.1.4.4. Queima de combustíveis fósseis e a poluição do aquecimento global	
2.1.1.4.5. Outras formas de poluição do ar	
2.1.1.4.6. Acidificação dos oceanos	
2.1.1.4.7. Construindo um futuro de energia	

## 2.1.2 Acabar Dependência dos Combustíveis Fósseis

### 2.1.2.1. Maior eficiência energética

## Seção 2 Agenda Climática e Descarbonização.....150

### 2.1.3. Acordos Internacionais sobre Mudanças Climáticas e Descarbonização Industrial com a Redução de Consumo dos Combustíveis Fósseis.

#### 2.1.3.1 Acordo de Paris e a Descarbonização Industrial

#### 2.1.3.2 COP 26 e Descarbonização Industrial pela Biomassa

#### 2.1.3.3 Plataforma First Movers Coalition e Iniciativa de Descarbonização Industrial Profunda.

#### 2.1.3.4 Agenda Climática Brasileira

#### 2.1.3.5 Declaração de Glasgow e Bioenergia Sustentável

#### 2.1.3.6. Participação do Setor Industrial nas Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa

#### 2.1.3.7. COP 28 e Descarbonização Industrial

### 2.1.4. Tecnologias de Remoção de Gases de Efeito Estufa

## Seção 3 Descarbonização Industrial.....171

### 2.2. Descarbonização Industrial

#### 2.2.1. Descarbonização global

#### 2.2.2. Visão Geral Mundial da Descarbonização industrial

2.2.3. Meta de descarbonização para atingir o Net Zero até 2050

2.2.4. Necessidade fundamental da descarbonização

2.2.4.1. Setores Industriais Intensivos em Energia

2.2.5. Papel das indústrias na descarbonização.

2.2.6. Soluções para redução CO2 no setor industrial

2.2.7. Tecnologias de descarbonização.

2.2.7.1. Energias Renováveis.

2.2.7.2. Energias fósseis de baixo carbono

2.2.7.3. Hidrogênio

Seção 4 Roteiro de Descarbonização Industrial.....187

2.2.8. Roteiro de Descarbonização Industrial

2.2.9. Descarbonização, Redução do dióxido de carbono e Estratégia Energética

2.2.10. Descarbonização e soluções de remoção

2.2.11. Benefícios da descarbonização para as empresas

2.2.12. Momento de descarbonização industrial

2.2.13. Maiores desafios da descarbonização

2.2.14. Descarbonizar a rede energética

2.2.15. Combustíveis de baixo carbono

2.2.16. Descarbonização absoluta vs. descarbonização de intensidade

2.2.17. Futuro da descarbonização

2.2.18. Descarbonização e Net Zero

Seção 5 Estratégias Fundamentais de Descarbonização Industrial.....200

2.3. Estratégias Fundamentais de Descarbonização Industrial

2.3.1. Estratégia de Combustível Industrial de Baixo Carbono.

2.3.2. Estratégia da Biomassa Sustentável para Descarbonização Industrial

2.3.3. Estratégia de Segurança Energética

2.3.4. Estratégia Zero Carbono no Sistema de Transporte

2.3.5. Estratégia Hidrogênio Verde

2.3.6. Estratégia de Descarbonização dos Edifícios Industriais

Seção 6 Biomassa para Descarbonização Industrial .....204

2.4. Biomassa para Reduções Emissões CO<sub>2</sub>

2.4.1. Descarbonização Industrial com Uso da Biomassa

2.4.2. Desafios do uso da Biomassa para Descarbonização Industrial

2.4.3. Disponibilidade de Biomassa Brasil

2.4.4. Projeções de Disponibilidade de Biomassa no curto prazo (2025-2030)

2.4.5. Projeções de Disponibilidade de Biomassa no Médio Prazo (2030-2040)

2.4.6. Projeções de Disponibilidade de Biomassa no Longo Prazo (2040/2050)

2.4.7. Emissões Líquidas zero

2.4.8. Cenário 2050: Alta Eletrificação

2.4.9. Cenário 2050: Alto Recurso

2.4.10. Cenário 2050 : Alta inovação

2.4.11. Descarbonização de Substituição Gás Natural GLP por Biomassa

2.4.11.1. Diretrizes Gerais do Gás natural

2.4.12. Eficiência Energética

2.4.13. Troca de Combustível na Matriz Energética

2.4.13.1. Abordagens Disponíveis para a Descarbonização da Indústria.

2.4.13.2. Troca de Combustível e Eletrificação com uso da Biomassa

2.4.14. Descarbonização Industrial e a Economia Circular

Capítulo 3 Descarbonização Industrial Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono.....226

3.1. Introdução

3.1.1. Definição técnica.

3.1.2. Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono

3.1.3. Importância do BECCS para as indústrias alcançarem meta zero carbono

- 3.1.4. Cenário de projeção
- 3.1.5. Processo de Emissão Negativa
- 3.1.6. Conversão da Biomassa
- 3.1.7. Opções Tecnológicas para Remoção de CO<sub>2</sub>
- 3.1.8. Tecnologia como Captura Pós-combustão
- 3.1.9. Captura e Armazenamento Direto de Carbono no Ar.
- 3.1.10. Tecnologias Captura e Armazenamento de Carbono de Bioenergia
  - 3.1.10.1. Conversão de Biomassa.
  - 3.1.10.2. Tecnologias Avançadas de Conversão.
  - 3.1.10.3. Tecnologias de Captura de CO<sub>2</sub>
  - 3.1.10.4. Captura Pós-combustão.
  - 3.1.10.5. Captura de Oxi-combustão
  - 3.1.10.6. Captura Pré-combustão
- 3.1.11. Emissões de CO<sub>2</sub> da produção e transporte de biomassa
  - 3.1.11.1. Captura de CO<sub>2</sub> de Emissões Industriais.
  - 3.1.11.2. Captura de CO<sub>2</sub> durante o processo
- 3.1.12. Opções Tecnológicas Atuais e Futuras
  - 3.1.12.1. Tecnologias em desenvolvimento de captura de CO<sub>2</sub>
- 3.1.13. Transporte de CO<sub>2</sub>
- 3.1.14. Armazenamento de CO<sub>2</sub>
- 3.1.15. Utilização de CO<sub>2</sub>

- 3.1.16. Logística e Contabilidade de Carbono.
- 3.1.17. Modelo de Controle Ambiental Integrado
- 3.1.18. Custos de Carbono
- 3.1.19 Custo do Carbono Armazenado
- 3.1.20. Custo do Carbono Evitado
- 3.1.21. Análise Econômica
- 3.1.22. Iniciativas Atuas da Tecnologia BECCS.
- 3.1.23. Desafios e Impactos da Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono
- 3.1.24. Desafios e Barreiras para a Implantação da Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono
- 3.1.25. Benefícios e Impactos da Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono.

Capítulo 4 Descarbonização Industrial Biocarvão/Biocarbono.....286

4.1 Processos de conversão térmica

4.2 Pirólise

4.2.1. Pirólise Lenta

4.3 Pirólise Rápida

4.3.1 Reatores para a pirólise rápida

4.3.1.1 Reator de leito fluidizado

- 4.3.1.2 Leito fluidizado circulante
- 4.3.1.3 Pirolisador de cone rotativo
- 4.3.1.4 Reator ablativo
- 4.3.1.5 Reator rosca sem fim
- 4.3.2 Rendimentos de bio-óleo em reatores de pirólise rápida
- 4.4. Pirólise rápida de biomassa em reator de leito fluidizado
  - 4.4.1 Fluidodinâmica do leito fluidizado
    - 4.4.1.1 Influência das propriedades das partículas
    - 4.4.1.2 Regimes de fluidização
    - 4.4.1.3 Slugging e tendência de agregação das partículas
    - 4.4.1.4 Qualidade da fluidização
    - 4.4.1.5 Mistura e segregação de misturas binárias
    - 4.4.1.6 Algumas correlações para a previsão da velocidade de mínima fluidização
  - 4.4.2 Reatores de leito fluidizado aplicados à pirólise rápida
  - 4.4.3 Reações secundárias em reatores de leito fluidizado
    - 4.4.3.1 Mecanismos de reações na pirólise rápida
- 4.5. Produtos da pirólise rápida
  - 4.5.1. Bio-óleo
    - 4.5.1.1. Propriedades do bio-óleo
    - 4.5.1.2 Características do bio-óleo

4.5.1.3 Teor de água no bio-óleo

4.5.1.4 Densidade do bio-óleo

4.5.1.5 Teor de sólidos

4.5.1.6 Teor de oxigênio

4.5.1.7 Poder calorífico

4.5.2 Aplicações do bio-óleo

4.5.3 Upgrading do bio-óleo

4.5.4. Gases da carbonização

4.5.4.1. Gás natural sintético

4.6. Biocarvão/Biocarbono

4.6.1. Aspectos gerais de produção do biocarbono

4.6.1.1. Tecnologia biogreen

4.6.1.1.1. Propriedades reológicas e características de fluxo da matéria-prima

4.6.1.1.2. Sistema industrial

4.6.1.1.3. Sistema de secagem

4.6.1.1.4. Sistema de pirólise

4.6.1.1.5. Câmara de pirólise

4.6.1.1.6. Sistema de refrigeração

4.6.1.1.7. Sistema de transporte

4.6.1.2. Tecnologia de Pirólise em Contêineres

## Capítulo 5 Descarbonização Industrial Biometano/Gás Natural Verde.....342

### 5.1. Biogás

### 5.2. Crescimento e Tendências do Mercado de Biogás

#### 5.2.1. Fatores de Crescimento do Mercado de Biogás

#### 5.2.2. Fatores de Restrição de Mercado

### 5.3. Tendências do Mercado Internacional de Biogás

#### 5.3.1. Mercado de Biogás dos Estados Unidos

#### 5.3.2. Mercado Europeu de Biogás.

#### 5.3.3. Mercado Ásia-Pacífico de Biogás

### 5.4. Dinâmica de Mercado de Biogás.

### 5.5. Biogás e Mercado de Energia

### 5.6. Principais empresas de participação de mercado

### 5.7. Mercado Brasileiro de Biogás

### 5.8. Diretrizes Gerais de Produção de Biogás

#### 5.8.1. Etapas de Formação do Biogás.

#### 5.8.2. Uso Energético do Biogás

#### 5.8.3. Rendimento do Biogás

#### 5.8.4. Tecnologia de Produção de Biogás

#### 5.8.5. Digestão Anaeróbica.

#### 5.8.6. Limpeza de Biogás

#### 5.8.7. Atualização de Biogás

5.8.8. Tipos de Substratos

5.8.9. Logística e Avaliação dos Substratos

5.9. Biometano

5.9.1. Benefícios do Biometano

5.9.2. Usos do Biometano

5.9.3. Forma de Produção de Biometano

5.9.4. Sustentabilidade do Biometano.

5.10. Mercado Mundial de Biometano

5.11. Sistema de Purificação de Biogás e Geração de Biometano

5.12. Produção Industrial de Biometano

5.12.1. Melhoria do Biogás

5.12.2. Gaseificação térmica de biomassa sólida seguida de metanação

5.13. Papel do Biometano no Caminho Zero Líquido.

5.14. Biometano como substituto do gás natural

5.15. Sistemas de biogás como um componente estratégico de uma biorrefinaria

5.16. Sistemas de biogás como parte da economia circular.

5.17. Transporte limpo com o Biometano

5.18. Produção CO<sub>2</sub> Industrial

5.19. Produção de Amônia Verde

5.20. Biometano e Ecologização da Rede (Gás Natural Verde)

## 5.21. Biometano e Captura e Armazenamento de Carbono

### Capítulo 6 Descarbonização Industrial Hidrogênio Baixo Carbono.....427

#### 6.1 Hidrogênio Verde

##### 6.1a. Eletrólise da água

##### 6.1b. Unidades industriais de eletrólise

##### 6.1c Eletrodos e eletrólitos utilizados na eletrólise alcalina

##### 6.1d Fontes energéticas utilizadas na geração de hidrogênio verde

##### 6.1e. Armazenamento do hidrogênio

##### 6.1f. Tanques pressurizados

##### 6.1g. Armazenamento geológico

##### 6.1h. Armazenamento de hidrogênio líquido

##### 6.1i. Hidretos metálicos

##### 6.1j. Adsorção em nanomateriais

##### 6.1k. Transportadores de hidrogênio orgânicos líquidos

##### 6.1l. Transporte de hidrogênio

##### 6.1m. Aplicações do hidrogênio

##### 6.1n Motores de combustão interna

##### 6.1o. Células de combustível

##### 6.1.1. Diretrizes gerais do Hidrogênio Verde

##### 6.1.1.1. Características do Hidrogênio Verde

6.1.1.2. Classificação e Produção do Hidrogênio Verde	
6.1.1.3. Armazenamento e Distribuição do Hidrogênio Verde	
6.1.1.4. Benefícios e Consumo do Hidrogênio Verde	
6.1.1.5. Potenciais Aplicações de Hidrogênio Verde	
6.1.1.6. Perspectivas de Custo de Produção e Distribuição do Hidrogênio Verde	
6.1.2. Tecnologia de Produção do Hidrogênio Verde	
6.1.3. Energia renovável para produção de hidrogênio.	
6.1.3.1. Energia Solar na Produção de Hidrogênio.	
6.1.3.2. Energia Eólica na Produção de Hidrogênio.	
6.1.3.3. Energia hidrelétrica na produção de hidrogênio.	
6.1.3.4. Biomassa na produção de hidrogênio.	
6.1.4. Hidrogênio Verde como agente complementar	
6.1.5. Hidrogênio Verde e Captura e Armazenamento de Carbono	
6.1.6. Hidrogênio Verde como Combustível de Baixo Carbono	
Capítulo 7 Tipos de Biomassa para Descarbonização Industrial.....	478
7.1. Aspectos Gerais	
7.2. Tipos de Biomassa para Descarbonização Industrial	
7.3. Biomassa Agricultura e Beneficiamento Agroindustrial	
7.3.1. Produção de Biomassa Agroindustrial no Brasil	

## 7.3.2. Principais Culturas Agrícolas - Safra de Grãos 2024/25

7.3.2.1. Cultura do Açaí Produção e Disponibilidade

7.3.2.2. Cultura do Algodão Produção e Disponibilidade

7.3.2.3. Cultura do Amendoim Produção e Disponibilidade

7.3.2.4. Cultura do Arroz Produção e Disponibilidade

7.3.2.5. Cultura do Babaçu Produção e Disponibilidade

7.3.2.6. Cultura do Cacau Produção e Disponibilidade

7.3.2.7. Cultura do Café Produção e Disponibilidade.

7.3.2.8. Cultura da Castanha do Pará Produção e Disponibilidade

7.3.2.9. Cultura da Cevada Produção e Disponibilidade

7.3.2.10. Cultura do Coco da Bahia Produção e Disponibilidade

7.3.2.11. Cultura do Feijão Produção e Disponibilidade

7.3.2.12. Cultura da Laranja Produção e Disponibilidade

7.3.2.13. Cultura da Mandioca Produção e Disponibilidade

7.3.2.14. Cultura do Milho Produção e Disponibilidade

7.3.2.15. Cultura da Soja Produção e Disponibilidade

7.3.2.16. Cultura do Trigo Produção e Disponibilidade

7.3.2.17. Cultura do Sorgo Produção e Disponibilidade

7.3.2.18. Cultura da Uva Produção e Disponibilidade

## 7.4. Biomassa da Cana-de-açúcar - Safra 2024/25

7.4.1 Resíduos da Cultura da Cana-de-açúcar

7.4.2 Palha da cana-de-açúcar

7.4.3 Bagaço da cana-de-açúcar

7.4.4 Água de Lavagem da Cana-de-açúcar

7.4.5 Vinhaça

7.5. Produção e Uso de Biomassa Florestal e da Madeira no Brasil

7.5.1. Recursos Florestais no Brasil

7.5.2. Setor Brasileiro de Florestas Plantadas

7.5.3. Geração de Empregos no Setor Florestal Brasileiro

7.5.4. Produção florestal em florestas plantadas

7.5.5. Produção Florestal Brasil

7.5.6. Produtos Florestais Madeireiros

7.5.7. Produtos Processados da Madeira

7.5.8. Perspectivas Futuras Biomassa para Energia

7.5.9. Disponibilidade de Biomassa Brasil

7.5.10. Produção Biomassa Brasil – Quantitativo

7.5.11. Diagnóstico de Produção e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Região Norte

7.5.11.1. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Acre

7.5.11.2. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Amapá

7.5.11.3. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Amazonas

7.5.11.4. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Pará

7.5.11.5. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Rondônia

- 7.5.11.6. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Roraima
- 7.5.11.7. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Tocantins
- 7.5.12. Diagnóstico de Produção e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Região Nordeste
  - 7.5.12.1. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Alagoas
  - 7.5.12.2. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Bahia
  - 7.5.12.3. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Ceará
  - 7.5.12.4. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Maranhão
  - 7.5.12.5. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Paraíba
  - 7.5.12.6. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Pernambuco
  - 7.5.12.7. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Piauí
  - 7.5.12.8. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Rio Grande Norte
  - 7.5.12.9. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Sergipe
- 7.5.13. Diagnóstico de Produção e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Região Centro Oeste
  - 7.5.13.1. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Distrito Federal
  - 7.5.13.2. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Goiás
  - 7.5.13.3. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Mato Grosso
  - 7.5.13.4. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Mato Grosso Sul

7.5.14. Diagnóstico de Produção e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Região Sudeste

7.5.14.1. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Espírito Santo

7.5.14.2. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Minas Gerais

7.5.14.3. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Rio de Janeiro

7.5.14.4. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em São Paulo

7.5.15. Diagnóstico de Produção e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira na Região Sul

7.5.15.1. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Paraná

7.5.15.2. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira no Rio Grande do Sul

7.5.15.3. Quantitativo e Disponibilidade de Biomassa Florestal e da Madeira em Santa Catarina

**BRASILBIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA.....596**

Estudo Setorial Descarbonização das Indústrias Amônia – Biomassa Biocarvão  
Hidrogênio Verde – Captura de Carbono

Catálogo na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. 2025

Conteúdo: 1. Análise do Setor Industrial de Produção de Amônia no Brasil 2. Emissões de CO2 das Indústrias Amônia 3. Caminho e Cenários da Descarbonização e Projeções para Reduções de CO2. 4. Consumo Energético Produção Amônia e Alternativas Energéticas para Descarbonização 5. Tecnologias para Redução das Emissões de Carbono 6. Tecnologia e Projeções de Produção de Biomassa Sustentável 7. Tecnologia e Projeções de Produção de Hidrogênio Verde 8. Tecnologia e Projeções de Produção de Captura e Armazenamento de Carbono 9. Recuperação de Calor com Tecnologias Avançadas 10. Fundamentos da Descarbonização Industrial das Indústrias de Amônia

II. Título. CDU 621.3(81)"2030" : 338.28 CDU 620.95(81) CDD333.95 (1ed.)

Todos os direitos reservados a Brasil Biomassa e Energia Renovável

Copyright by Celso Marcelo de Oliveira

Tradução e reprodução proibidas sem a autorização expressa do autor.

Nenhuma parte deste estudo pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou meio, incluindo fotocópia, gravação ou informação, ou por meio eletrônico, sem a permissão ou autorização por escrito do autor. Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Edição eletrônica no Brasil e Portugal em versão eletrônica

© 2025 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável

Edição 2025 Total 683 páginas.

Proibida a reprodução com ou sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio impresso e eletrônico.

## PREFÁCIO



Em nome da Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável e dos numerosos colaboradores no desenvolvimento do Estudo Setorial Descarbonização das Indústrias Amônia – Biomassa Biocarvão Biometano Hidrogênio Verde – Captura de Carbono, tenho o prazer de apresentar o primeiro estudo setorial da série Descarbonização Industrial desenvolvido pela Brasil Biomassa sobre o potencial para um futuro de baixo carbono nos setores industriais mais intensivos em calor no Brasil.

As alterações climáticas apresentam-se como um dos maiores desafios para a humanidade neste século. Vivemos numa época onde somos sobrecarregados com informações sobre o impacto dos combustíveis fósseis no nosso planeta, que podem ter consequências negativas sobre a atividade humana, ao nível social, económico e ambiental.

No entanto, mais recente é a preocupação e necessidade de descarbonização da indústria em alinhamento às metas globais de redução de gases do efeito estufa.

O setor industrial produz grandes quantias desses gases, como o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>. O metano, CH<sub>4</sub>, outro tipo de GEE, é parte dos recursos energéticos secundários e é queimado a CO<sub>2</sub> nas unidades. Pode-se reduzir o conceito mais amplo de pegada de carbono na indústria a uma emissão integrada de CO<sub>2</sub>, que é a soma das emissões de CO<sub>2</sub>, aparecendo conseqüentemente em todos os processos da cadeia tecnológica de produção da amônia verde.

Quanto ao consumo de energia, o setor é um grande maior consumidor industrial de energia. O combustível mais usado no setor é o carvão e o gás natural. Deste modo, esta temática da descarbonização revela-se importante para a atividade industrial, cuja intervenção pode aumentar ou reduzir o seu impacto.

Para abordar esta temática constitui-se necessário analisar as alterações climáticas, no sentido de compreender as causas que levam ao aquecimento global e averiguar de que modo se constitui possível uma redução significativa das emissões de gases de efeito de estufa, impondo-se a descarbonização empresarial em vários setores da economia, em particular no setor industrial.

A descarbonização deve promover uma mudança na mentalidade e comportamento das pessoas assim como na atuação das empresas. Neste contexto, a descarbonização industrial ganha assim importância estratégica, nomeadamente em sustentabilidade e responsabilidade social para fazer face às alterações climáticas. A sustentabilidade é tida como fator chave para a vantagem competitiva das organizações e considerada não apenas desejável, mas imperativa, num tempo marcado pelas alterações climáticas e aplicação das políticas ambientais. Este estudo setorial avalia todas as alternativas técnicas para a descarbonização industrial do setor para as reduções de emissões de CO<sub>2</sub>, da mudança de fonte de energia para bioeletricidade com uso da biomassa e principalmente das novas e inovadoras tecnologias de biocarvão (bio-óleo e gás sintético), hidrogênio verde e captura e armazenamento de carbono para o setor industrial de produção de amônia verde.

Este Estudo setorial investiga como a indústria poderá descarbonizar o processo produtivo e industrial, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>, aumentando a eficiência energética, permanecendo competitiva no mercado.

As mudanças na economia internacional e a necessidade de descarbonizar significam que as empresas do setor no Brasil, venham em enfrentar os desafios crescentes, bem como encontrar novas oportunidades. O Brasil está comprometido em mudar para uma economia de baixo carbono, incluindo os setores mais intensivos em energia. Esses setores consomem uma quantidade considerável de energia, mas também desempenham um papel essencial na entrega da transição para uma economia de baixo carbono, bem como na contribuição para o crescimento e no reequilíbrio da economia. O Estudo setorial visa:

- Melhorar a compreensão do potencial de redução de emissões de setores industriais, os custos e desafios relativos de opções alternativas de geração e de redução do consumo de energia.
- Estabelecer uma base de evidências das novas tecnologias para descarbonização industrial do setor e para identificar conclusões estratégicas e próximos passos potenciais para ajudar a entregar uma descarbonização econômica no médio a longo prazo (durante o período de 2030 a 2050)

Portanto, cada tópico do estudo visa apresentar evidências, análises e conclusões existentes no mercado nacional e internacional para que o setor possa tomar medidas subsequentes com relação a questões como redução e eficiência energética, alternativas de reduções de GEE, descarbonização e tecnologias de biocarvão, hidrogênio e de captura e armazenamento de carbono.

Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável

## DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS

Declarações Prospectivas . Este Estudo Setorial de descarbonização industrial contém certas declarações prospectivas que dizem respeito dos projetos e tecnologias inovadoras para descarbonização industrial. Este Estudo Setorial para descarbonização industrial contém certas declarações prospectivas que dizem respeito a eventos futuros ou desempenho futuro do mercado. Estas declarações prospectivas são baseadas em previsões e estudos técnicos e dados de mercado sobre as expectativas de desenvolvimento e de expansão do mercado de consumo de biomassa e dos projetos energéticos para descarbonização

Objetiva-se com o Estudo setorial em gerar expectativas dentro de uma tendência de mercado e de tecnologias para descarbonização. Se as expectativas geradas e premissas revelarem-se incorretas por mudança de fatores e de mercado, então os resultados reais podem diferir materialmente da informação prospectiva contida neste documento.

Além disso, declarações prospectivas, por sua natureza, envolvem riscos e incertezas que poderiam causar os resultados reais difiram materialmente daqueles contemplados no estudo.

Assim utilizamos as declarações prospectivas de informações como apenas uma advertência no desenvolvimento do Estudo Setorial de Descarbonização.

DIRETORIA EXECUTIVA



## II. Diretrizes Gerais do Estudo Setorial de Descarbonização das Indústrias de Amônia



A amônia tem sido amplamente usado desde a década de 1930 em armazéns frigoríficos industriais, aplicações na indústria de processamento de alimentos e cada vez mais em ar condicionado em larga escala. A amônia também é o principal componente na produção de AdBlue para controle de NOx em veículos e nas indústrias farmacêutica, têxtil e de explosivos. A produção global atual de amônia é de cerca de 176 milhões de toneladas por ano e é predominantemente obtida por meio da reforma a vapor de metano para produzir hidrogênio para alimentar a síntese de amônia por meio do processo Haber Bosch

A produção de amônia é um processo altamente intensivo em energia que consome cerca de 1,8% da produção global de energia a cada ano (a reforma do metano a vapor é responsável por mais de 80% da energia necessária) e produz como resultado cerca de 500 milhões de toneladas de dióxido de carbono (cerca de 1,8% das emissões globais de dióxido de carbono).

A síntese de amônia é significativamente o maior processo da indústria química emissora de dióxido de carbono. Junto com a produção de cimento, aço e etileno, é um dos "quatro grandes" processos industriais onde um plano de descarbonização deve ser desenvolvido e implementado para atingir a meta de emissões líquidas de carbono zero até 2050.

Além de seus usos estabelecidos, a amônia pode ser aplicada como um transportador de energia flexível de longo prazo e combustível de carbono zero. Em comum com os combustíveis fósseis, a amônia é tanto um armazenamento de energia química quanto um combustível, onde a energia é liberada pela quebra e formação de ligações químicas.

Para a amônia (NH<sub>3</sub>), o ganho líquido de energia surge da quebra de ligações nitrogênio-hidrogênio que, junto com oxigênio, produz nitrogênio e água. Importante, isso significa que se energia sustentável for usada para alimentar a produção de amônia verde, ela pode ser feita de forma sustentável usando apenas ar (que é cerca de 78% de nitrogênio) e água.

O Green Ammonia Market foca na amônia produzida usando fontes de energia renováveis, como biomassa, solar, eólica ou hidrelétrica, por meio de eletrólise em vez de métodos tradicionais baseados em combustíveis fósseis. Diferentemente da produção convencional de amônia, que depende de gás natural no processo Haber-Bosch, a produção de amônia verde divide a água em hidrogênio e oxigênio usando eletricidade renovável e combina hidrogênio com nitrogênio.

A amônia verde serve como combustível limpo, meio de armazenamento de energia e insumo agrícola sustentável, particularmente em indústrias que buscam reduzir sua pegada de carbono. Neste sentido desenvolvemos o estudo setorial para apresentar as melhores alternativas para a descarbonização do setor industrial de amônia.

A produção de amônia é de grande importância para a agricultura global, pois constitui um componente principal dos fertilizantes de nitrogênio. É ainda mais amplificada pelo status do país como um dos maiores produtores agrícolas do mundo.

Este setor constitui um componente essencial da economia brasileira, contribuindo com uma proporção considerável do Produto Interno Bruto e das importações do país. Portanto, é de suma importância garantir a produção sustentável e eficiente de amônia para que a produtividade agrícola e, conseqüentemente, a economia brasileira sejam mantidas.

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de produtos agrícolas, ocupando, conseqüentemente, posição de destaque no mercado mundial de consumo de fertilizantes. No entanto, aproximadamente 80% do mercado nacional de fertilizantes é abastecido por produtos importados, o que tem levado a questão do aumento da capacidade de produção deste recurso a se tornar estratégico.

Este estudo setorial considera as oportunidades e desafios associados à fabricação e uso futuro de amônia zero carbono, que é referida como amônia verde. A produção de amônia verde tem a capacidade de impactar a transição por meio da descarbonização de seu principal uso atual na produção de fertilizantes.

Com a aprovação da Lei nº 14.948, em 2 de agosto de 2024 (Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono), a criação do Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – Rehidro e a iminente sanção presidencial do Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – PHBC, o país deu um passo importante na direção da transição energética.

Com o estabelecimento do Pacto do Hidrogênio Verde e incentivos governamentais, o Brasil tem o potencial para se tornar um player importante na produção de amônia verde.

A vasta disponibilidade de energia solar e eólica em regiões como o Nordeste torna o país um candidato natural para desenvolver uma cadeia de suprimento de hidrogênio verde, que pode ser convertida em amônia para facilitar o transporte e o uso industrial. No entanto, para que o Brasil capitalize essa oportunidade, deve superar desafios relacionados à infraestrutura, tecnologia e regulação. O país precisa de investimentos em infraestrutura para transporte de hidrogênio e amônia, bem como incentivos para pesquisa e desenvolvimento para tornar os processos mais eficientes e competitivos no cenário internacional.

Amônia verde está emergindo como um dos componentes essenciais na transição energética global, oferecendo uma solução para armazenamento e transporte de hidrogênio e servindo como uma fonte de energia limpa para indústrias em busca de descarbonização. Com sua vasta oferta de energia renovável e recursos naturais, o Brasil está em uma posição privilegiada para liderar a produção de amônia verde no cenário global. No entanto, para que esse potencial seja realizado, há desafios a serem superados.

Neste estudo setorial, exploramos como o Brasil pode se tornar um dos maiores produtores de amônia verde do mundo, os desafios estruturais que enfrenta e as oportunidades decorrentes da crescente demanda global por combustíveis limpos.

Amônia verde é produzida combinando hidrogênio verde com nitrogênio, utilizando fontes de energia renováveis para impulsionar o processo. Este combustível é considerado chave para a transição energética, pois pode ser utilizado em setores de difícil descarbonização, como produção de fertilizantes, transporte marítimo e geração de eletricidade.

Além disso, a amônia verde pode servir como um meio eficiente de armazenar e transportar hidrogênio, abordando um dos maiores desafios logísticos na cadeia de suprimento de hidrogênio.

A amônia é essencial para a missão de reduzir as emissões nesses setores devido ao seu potencial como transportadora de energia, entrando em novos mercados como combustível sem carbono, meio de armazenamento de energia e vetor de transporte para hidrogênio. No entanto, para que a amônia tenha algum impacto na descarbonização, ela deve ser produzida sem emissões de dióxido de carbono.

No estudo apresentamos as opções tecnológicas viáveis para descarbonizar a amônia (além da biomassa, que desempenha um papel importante). Primeiro, os produtores precisam em utilizar a tecnologia de captura e armazenamento de carbono. Isso precisaria capturar o CO<sub>2</sub> tanto do gás de processo (aproximadamente 66% das emissões de CO<sub>2</sub>) quanto das emissões de combustão (aproximadamente 34%).

Se a planta fosse parcialmente eletrificada, essas emissões de combustão poderiam ser eliminadas, mas, mesmo assim, vazamentos e perdas no sistema afetariam negativamente o potencial de descarbonização. O fluxo de CO<sub>2</sub> produzido no processo é duplo. O fluxo de CO<sub>2</sub> do processo é relativamente puro, portanto os custos de captura são mínimos. Na maioria das plantas de amônia, esses fluxos concentrados já são capturados e usados para ureia.

Em segundo lugar, os produtores de amônia poderiam trocar combustíveis fósseis por água e biomassa como fonte de hidrogênio e substituir as unidades por eletrolisadores. A Eletrólise poderia se tornar a rota de produção dominante. O custo dependerá do custo da eletricidade de carbono zero e do custo de capital da eletrólise ambos os custos provavelmente cairão significativamente ao longo do tempo, particularmente em regiões com recursos eólicos e solares favoráveis.

A rota ideal para atingir emissões líquidas zero de CO<sub>2</sub> da produção de amônia, portanto, vai variar por região, à luz da disponibilidade de recursos naturais e de biomassa e dos preços da eletricidade. Mas, por uma rota ou outra, será possível descarbonizar a produção de amônia a um custo relativamente baixo.

A amônia é essencial na transição para energia limpa e será necessário para eletrificação de transporte, expansão da rede e geração de eletricidade renovável. De fato, à medida que a transição para energia limpa ganha força, a demanda global por amônia pode mais que dobrar até 2050. No entanto, a produção de amônia libera altas quantidades de carbono e outras emissões de gases de efeito estufa (GEE). Descarbonizar a produção de amônia é essencial para maximizar o benefício climático e neste sentido é de extrema importância do presente Estudo setorial.

A indústria da amônia desempenha um papel importante na economia do Brasil, não apenas por seu valor intrínseco, mas também como um elo na cadeia do setor agroindustrial. Este estudo setorial fornece uma visão geral das tecnologias de descarbonização disponíveis para a indústria de amônia para permitir que ela cumpra sua contribuição para as metas de descarbonização 2030 e 2050.

A indústria agora enfrenta a tarefa de reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> para estar em linha com as metas climáticas do Brasil, ao mesmo tempo em que permanece competitiva em uma indústria globalizada.

Este estudo setorial analisa o estado atual da indústria da amônia, tanto global quanto nacionalmente, e apresenta uma visão geral das tecnologias que estão sendo desenvolvidas e adotadas para descarbonizar o setor e os efeitos potenciais de sua implementação.

A eletrificação com a bioeletricidade eo uso da biomassa bem como cinco tecnologias-chave, são identificadas no presente estudo com o potencial de descarbonizar a indústria da amônia.

A eletrificação direta de processos é parte integrante da descarbonização, agravada pela ambição de descarbonizar a geração de eletricidade. A captura de carbono é a mais desenvolvida, à beira do preço de equilíbrio para esta indústria.

O biocarvão ou o biocarbono é uma inovação tecnológica (sendo desenvolvida pela Vale no Brasil) em termos de conversão da biomassa pelo sistema de pirólise num produto energético para geração de energia, calor e aquecimento podendo ser utilizado na produção de amônia.

O biogás e especialmente o biometano é uma solução energética para a substituição do gás natural nas indústrias de amônia.

E finalmente o hidrogênio pode ser usado para substituir combustíveis fósseis e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em aplicações de alta temperatura.

O setor da produção de amônia pode se tornar neutro em carbono, mas as barreiras econômicas e tecnológicas permanecem. Uma opção é fazer mais uso da rota de produção de amônia verde. À medida que as tecnologias amadurecem e o preço do CO<sub>2</sub> aumenta, o ponto de inflexão para a descarbonização em toda a indústria está se aproximando.

Este estudo setorial visa estabelecer uma metodologia para avaliar o potencial de descarbonização do setor industrial de produção de amônia. Ao se concentrar neste setor específico, grande emissor de CO<sub>2</sub> e consumidor de energia, o estudo visa abordar detalhes específicos que seriam importantes para as reduções de emissões de CO<sub>2</sub> e propriamente as alternativas tecnológicas para a descarbonização do setor industrial, com dados precisos, e fornecendo uma estrutura que pode ser aplicada em todas as indústrias do setor. Especificamente, a metodologia pode ser transferida para cada tipo de indústria como as produtoras de amônia.

A metodologia para determinar o inventário de emissões de CO<sub>2</sub> das indústrias de amônia e o potencial de descarbonização pode ser dividida em duas etapas principais. Determinar a pegada de carbono de cada processo industrial analisando como ele consome energia e produz ou captura emissões.

Em seguida, fornecer diferentes soluções e cenários sobre como reduzir as emissões das indústrias de amônia dentro do escopo do estudo setorial..

Esta seção abordará o processo de coleta de dados, análise, o processo de tomada de decisão para a solução concreta e como os resultados foram obtidos, incluindo quais ferramentas foram usadas..



Retratamos no

estudo setorial que o potencial de descarbonização das indústrias de amônia pode ser dependente de planejamento e de segurança para suprimento de energia limpa (bioeletricidade, biomassa e hidrogênio) para impulsionar a implementação de medidas específicas para redução e eficiência energética do setor.

Assim sendo uma redução substancial das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) deve ser alcançada para limitar o aumento da temperatura global bem abaixo de 2 °C, conforme estipulado na meta climática do Acordo de Paris e das COPs. Esta redução requer transformações sistêmicas fundamentais, rápidas e em larga escala para descarbonizar completamente o setor industrial de produção de amônia.

O Brasil estabeleceu ambições claras para a descarbonização, com uma meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em pelo menos 55% até 2030 e atingir a neutralidade climática até 2050. Para atingir essas metas, todos os setores industriais como o de amônia terão que encontrar maneiras de transformar seus processos em atividades sustentáveis e não emissoras.

No estudo setorial retratamos que as indústrias produtoras de amônia têm um papel enorme em atingir essas metas, já que são responsáveis por um grande consumo de energia (origem dos combustíveis fósseis) e por ser um dos setores que emitem um grande contingente dos gases de efeito estufa (GEE).

A demanda por amônia aumentará de três a seis vezes em relação aos volumes atuais até 2050, em grande parte devido às necessidades de combustível marítimo. O setor marítimo por si só poderia “fazer ou quebrar” o aumento da produção de amônia. A amônia “verde” provavelmente dominará ao longo do tempo, representando 70-90% da produção global de amônia. O setor de amônia será responsável por 3-8% da demanda de eletricidade renovável até 2050, e 9-28% de hidrogênio verde e de biomassa.

Os investimentos precisam começar imediatamente e precisarão ser da ordem de US\$ 59 a US\$ 105 bilhões por ano até 2050. Isso se compara aos investimentos usuais de cerca de US\$ 18 bilhões para o setor atualmente. O uso de fertilizantes deve aumentar 30% até 2050, mas melhorias nas práticas agrícolas e redução do desperdício de alimentos podem moderar esse aumento.

O Brasil deu um passo importante com a aprovação da Lei nº 14.948, em 2 de agosto de 2024 (Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono), a criação do Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – Rehidro e a iminente sanção presidencial do Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – PHBC, o país deu um passo importante na direção da transição energética.

Com o estabelecimento do Pacto do Hidrogênio Verde e incentivos governamentais, o Brasil tem o potencial para se tornar um player importante na produção de amônia verde. Uma maneira pela qual a iniciativa planeja executar sua missão é por meio do Programa de Apoio a Projetos , cujo objetivo é “aumentar o número de projetos industriais de baixas e quase zero emissões atingindo o FID no país”. Na primeira iteração deste programa, o ITA fechou uma parceria com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) do Brasil em outubro de 2024. No Brasil, cinco setores, incluindo produtos químicos, aviação, aço, cimento e alumínio, estarão no centro das atenções. O programa visa avançar projetos selecionados para o FID até a COP30 (que estará sob a presidência do Brasil) e para o "status operacional" até 2030.

Neste sentido nos últimos meses foram implementados uma série de projetos de produção de amônia no Brasil. Enumeramos os principais projetos em desenvolvimento:



Fertilizante de baixo carbono (Atlas Argo): esta instalação integrada de nitrato de amônio renovável em Uberaba tem um investimento total projetado de US\$ 1,16 bilhão. O projeto produzirá fertilizantes renováveis de hidrogênio, amônia e nitrogênio alimentados por energia eólica e solar da rede nacional do Brasil. A Atlas está mirando o FID no início de 2029.

A Atlas Agro, empresa de fertilizantes verdes, anunciou que concedeu um contrato de engenharia competitiva dupla a dois consórcios de engenharia e construção para executar o desenvolvimento de engenharia de projeto competitivo paralelo para a primeira planta brasileira de fertilizantes nitrogenados verdes em Uberaba, MG.

Após esta primeira fase de desenvolvimento, a Atlas Agro planeja transferir o projeto para FEED (Front-End Engineering Design). A empresa espera começar a construção em 2025 e entrar em operação comercial em 2028.

A planta da Atlas Agro consumirá 2,5 TWh de energia renovável anualmente. Em uma operação industrial integrada, ela produzirá hidrogênio verde, amônia verde e nitrato de amônio verde. Os produtos finais atenderão agricultores brasileiros locais.

A planta aproveitará o conhecimento e a experiência da Atlas Agro adquiridos no primeiro projeto de fertilizante de nitrogênio verde da empresa no noroeste do Pacífico, nos Estados Unidos.

Hoje, o Brasil importa mais de 90% de seu fertilizante de nitrogênio, todos produzidos usando combustíveis fósseis como gás natural e carvão. Ao alavancar as vantagens naturais do país em energia verde, o Brasil pode substituir suas importações de fertilizantes de nitrogênio fóssil por produção local e verde.



E-metanol (European

Energy): Localizada no Complexo Industrial e Portuário de Suape, esta será uma planta de produção de e-metanol à base de hidrogênio renovável de 100.000 toneladas por ano, com um investimento de cerca de US\$ 344 milhões. As operações estão projetadas para o segundo trimestre de 2028. O governo estadual de Pernambuco assinou o acordo com a European Energy.

Hidrogênio renovável e amônia (Fortescue): O projeto visa desenvolver uma unidade de produção integrada de hidrogênio renovável e amônia no Porto do Pecém . Com FID esperado para este ano, a unidade produzirá cerca de 900.000 toneladas de amônia a partir de 168.000 toneladas de hidrogênio renovável. O investimento total é avaliado em US\$ 4 bilhões. A Petrobras assinou um Acordo de Princípios com a empresa dinamarquesa European Energy para estudar a possibilidade de estruturar uma "parceria de negócios visando à implantação de uma planta de e-metanol em escala comercial no Brasil, a ser instalada em Pernambuco". Isso significa que a estatal estuda a possibilidade de entrar como sócia no empreendimento que vai receber um investimento de R\$ 2 bilhões.

O e-metanol é produzido a partir da síntese do hidrogênio verde e do CO2 verde, usando energia limpa. O e-metanol é apontado como um dos combustíveis do futuro por vários motivos. Primeiro, é um combustível verde (com baixa ou zero emissão de carbono). Também vai ser uma solução para descarbonizar o transporte feito por embarcações, substituindo, no futuro, o óleo bunker, que é fóssil, fabricado a partir do petróleo, e contribui para o aquecimento global. E, por último, o novo combustível também pode ser usado em processos de descarbonização.

A futura unidade também vai comprar o CO2 biogênico que será produzida pelo setor sucroalcooleiro. O Grupo EQM será o primeiro fornecedor do CO2 verde para a European Energy. Para o e-metanol ser reconhecido como verde, a sua fabricação precisa ser feita a partir do hidrogênio verde, do CO2 biogênico, utilizando também energia limpa. A expectativa é de que o hidrogênio verde seja fabricado pela própria European Energy em Suape e o CO2 verde venha das usinas localizadas nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Alagoas. Quando a fábrica iniciar a sua produção, a estimativa é de que 100 mil toneladas de e-metanol sejam movimentadas por ano no Porto de Suape. O empreendimento vai se instalar numa área de 10 hectares próximo ao Estaleiro Atlântico Sul e gerar 250 empregos diretos.



Chamado de H2 Cumbuco, o projeto consiste na produção de amônia verde para exportação com foco nos mercados europeu e asiático. A empresa deve investir cerca de R\$ 27 bilhões, além da geração de cerca de 1.500 empregos na construção e mais de 200 na operação – números correspondem às fases 1 e 2 do empreendimento. A capacidade estimada de produção é de 2GW em sua totalidade.

A primeira fase do projeto contempla uma capacidade de 500 MW de eletrolisadores, produzindo 400 mil toneladas de amônia por ano com um investimento de R\$ 7 bilhões. Na segunda fase será acrescentada uma capacidade de 1,5 GW de eletrolisadores, aumentando a produção em 1.200.000 toneladas de amônia para atingir um total de 1.600.000 toneladas por ano. Esta fase exigirá um investimento adicional de R\$ 20 bilhões. A amônia produzida atenderá aos requisitos do RFNBO a um custo muito competitivo, e as águas residuais urbanas tratadas serão usadas para eletrólise. A construção começará em 2027, com as operações começando em 2029-30.

A FRV, sediada na Espanha, desenvolverá um novo projeto de hidrogênio renovável e amônia no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (idioma português). A FRV é agora uma das seis organizações que assinaram acordos com o governo estadual do Ceará para desenvolver projetos de produção.

O Ceará tem um recurso renovável muito importante, porque o maior recurso solar e eólico do Brasil está no Nordeste. A localização do Porto do Pecém, principalmente em relação à Europa e aos Estados Unidos, também é estrategicamente muito importante.

Essa água reutilizada vai gerar uma economia circular e não vai competir com o abastecimento humano. É um passo muito importante para a Utilitas, a Cagece e a economia do Ceará.



Projeto Iracema, um projeto de produção de amônia de vários milhões de toneladas por ano liderado pela Casa dos Ventos, Comerc e TransHydrogen Alliance. O Brasil se beneficia de uma alta penetração de eletricidade renovável em sua rede nacional. Energia hidrelétrica, eólica e solar representam quase 90% da eletricidade produzida, com a participação aumentando. Isso torna o Brasil um local ideal para a produção de hidrogênio conectado à rede, baseado em eletrólise, que pode alimentar diretamente a produção de amônia por meio do processo Haber Bosch.

Casa dos Ventos, Comerc e a TransHydrogen Alliance estão desenvolvendo 2,2 milhões de toneladas de capacidade de produção de amônia conectada à rede em Pecém, no estado do norte do Ceará. A primeira fase do Projeto Iracema está programada para entrar em operação em 2027, com o objetivo de produzir amônia em conformidade com os requisitos de certificação para a exportação de hidrogênio renovável para a Europa.

O Ministério de Minas e Energia (MME) deu aval para o Projeto Iracema Amônia Verde, empreendimento em Caucaia que pertence à empresa de energia renovável Casa dos Ventos. Com a autorização, o projeto poderá acessar a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional.

O acordo prevê a exportação de amônia verde produzida no Complexo do Pecém, no Ceará e integração da cadeia de abastecimento ao Porto de Roterdã. Planta tem potencial de produzir 2,4 milhões de toneladas de amônia por ano.

O Brasil ocupa um lugar de destaque no mercado de hidrogênio verde e amônia. É um dos poucos países do mundo cujas características da matriz renovável permitem a produção de um energético competitivo e em larga escala, bem como seus derivados. Levantamentos indicam que o mercado de hidrogênio verde pode movimentar entre US\$ 15 bilhões e US\$ 20 bilhões anuais até 2040.

Na portaria o acesso à Rede Básica do Sistema Interligado Nacional será feito a partir da divisão da Linha de Transmissão Pecém II, em Pacatuba, e na construção de extensões de Linha de Transmissão conectando ao barramento de 500 kV da Subestação Pecém III, entre outras medidas.

A intenção é atrair US\$ 900 milhões na primeira etapa do projeto de construção de uma planta industrial com capacidade de produzir cerca de 378 mil toneladas de hidrogênio verde por ano. A expectativa é que a produção máxima seja atendida até 2032.

De acordo com a portaria, assinada pela Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento, os estudos técnicos comprovaram que o projeto da empresa “atende aos critérios de mínimo custo global de interligação e reforço nas redes e está compatível com o planejamento da expansão do setor elétrico para um horizonte mínimo de cinco anos. A Casa dos Ventos também firmou um memorando de entendimento (MoU) com a Utilitas, empresa que atua no tratamento de água e efluentes.

O objetivo do acordo é o fornecimento de água de reuso para o projeto de produção de hidrogênio por meio de eletrólise da água, com vazão prevista na contratação de até 1.500 m<sup>3</sup>/hora de água bruta de reuso



A planta da AES Brasil, uma unidade de produção de amônia de 800.000 toneladas por ano alimentada por 2,5 GW de energia renovável. A AES apresentou recentemente uma avaliação de impacto ambiental em uma audiência pública em Pecém.

Conforme detalhado no EIA/RIMA, a planta da AES Brasil será desenvolvida no Complexo do Pecém, mais especificamente no Setor 2 da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do Ceará, em uma área de 80 hectares. O projeto tem potencial para produzir 800 mil toneladas de amônia verde por ano, a partir do consumo de 2,5 GW de energia renovável. De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental, o projeto também tem potencial para gerar cerca de 2.000 empregos na fase de construção.

De acordo com o estudo e o respectivo relatório de impacto ambiental (Eia/Rima) o projeto se refere à implantação de uma planta para a produção de Hidrogênio Verde acoplada a uma unidade de produção de Amônia Verde, operando com 100% de energia renovável, com capacidade para atender as demandas das indústrias da região e do Estado do Ceará.

Para a instalação do empreendimento, foi prevista uma área de 80 hectares na Zona de Processamento de Exportação (ZPE), que integra o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP). A Planta de Produção de Amônia está localizada no Setor II da ZPE, no município de Caucaia (CE), distante aproximadamente 21,36 km do centro da sede municipal e a 8,32 km do distrito de Pecém, em São Gonçalo do Amarante.

Para além da contribuição ambiental, de partirmos para uma matriz energética verde e sustentável, o projeto visa trazer mais oportunidades de emprego e renda para a população cearense. Esse é mais um importante passo do projeto de instalação de um Hub de Hidrogênio Verde no Setor 2 da ZPE Ceará. A AES é uma empresa que já tem investimento em H2V nos Estados Unidos.



Planta de produção de um milhão de toneladas por ano com mais de 1 GW de eletrolisadores, sendo desenvolvida pela Cactus Energy Green . O Complexo do Pecém (CIPP S/A) e a Cactus Energia Verde, empresa brasileira desenvolvedora de energias renováveis, assinaram um pré-contrato para produção de hidrogênio e amônia verde no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza. Trata-se do quarto pré-contrato firmado para o Hub de H2V do Ceará.

O projeto prevê a instalação de uma unidade fabril que abrigará 1,12 GW de eletrólise de H2V após sua conclusão, com capacidade de produzir 190 quilotons de hidrogênio renovável e mais de um milhão de toneladas de amônia renovável por ano.

O projeto, a ser instalado no Setor 2 da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do Ceará, integra a Fase I da Cactus e está programado para iniciar suas operações em 2027.

Somente durante a sua fase de construção, o projeto da Cactus deve gerar aproximadamente 5 mil empregos de alta qualificação, sendo mantidos mais de 600 cargos operacionais depois de concluído, segundo projeções da empresa. O investimento é na ordem de US\$ 2 bilhões.

Hub de Hidrogênio Verde. Idealizado em fevereiro de 2021 pelo Governo do Estado Ceará, em parceria com o Complexo do Pecém, Federação das Indústrias do Ceará (Fiec) e Universidade Federal do Ceará (UFC), o Hub de Hidrogênio Verde tem atraído diversas empresas interessadas em instalar no Complexo do Pecém, mais especificamente na área da ZPE Ceará, plantas para a produção e distribuição deste que é considerado o combustível do futuro.



Projeto de hidrogênio e amônia renováveis sendo desenvolvido pela Voltalia .O vínculo foi firmado entre o Complexo do Pecém e a empresa de origem francesa Voltalia do Brasil. A projeção de investimento é de 3 bilhões de dólares, com expectativa para geração de 5 mil empregos na fase de implantação do empreendimento, que será estabelecido no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP).

Com o pré-contrato, a Voltalia garante uma reserva de área no Setor 2 da ZPE e pode dar sequência aos próximos passos para a obtenção das respectivas licenças necessárias para a efetiva implementação do projeto. O grupo francês de energia Voltalia assinou um memorando de entendimento (MoU) com o governo do Ceará e o Complexo Industrial e Portuário de Pecém (CIPP) para desenvolver o projeto da empresa que pretende produzir hidrogênio verde e derivados no estado, com foco na exportação para a Europa.

No acordo, as partes se comprometem a cooperar na estruturação de projeto de hidrogênio verde, amônia verde e e-metanol, com colaboração de universidades locais e centros tecnológicos. As iniciativas previstas incluem capacitação de profissionais locais, a estruturação de uma cadeia de suprimentos adequada e condições otimizadas para uma unidade de produção dentro da Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do Ceará.

O MoU com a Voltalia foi assinado em Roterdã, nos Países Baixos. O porto está se posicionando como a porta para entrada do hidrogênio no mercado europeu e logística e distribuição do gás para outros países que buscam reduzir suas emissões de gases do efeito estufa.

Estabelecida no Brasil desde 2006, a Voltalia do Brasil é uma subsidiária do grupo francês Voltalia, que possui presença em 20 países e se dedica ao desenvolvimento de projetos e à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Atualmente, a Voltalia do Brasil opera mais de 1500 MW de parques eólicos e solares, concentrados principalmente na região Nordeste.

A vasta disponibilidade de energia solar e eólica em regiões como o Nordeste torna o país um candidato natural para desenvolver uma cadeia de suprimento de hidrogênio verde, que pode ser convertida em amônia para facilitar o transporte e o uso industrial



Amônia renovável (Parque de

Energia Verde): Desenvolvimento de uma unidade de produção e exportação de amônia renovável localizada no Estado do Piauí com capacidade anual de 2,1 milhões de toneladas por ano na primeira fase. O projeto exigirá um investimento de US\$ 4,5 bilhões. O hidrogênio produzido será usado internamente na produção de aço verde e para exportações para a Europa e outros mercados. Até agora, direitos de longo prazo para instalações de terminais portuários foram garantidos. O FID é esperado para 2026, com construção em fases programada para começar em 2028 até 2035.

O desenvolvedor do projeto Green Energy Park anunciou que sua primeira unidade de produção e exportação de amônia estará localizada no Brasil. Junto com o Estado do Piauí, o projeto contará com 5 GW de geração de energia renovável, com uma capacidade de produção inicial de um milhão de toneladas de amônia por ano . A amônia produzida nesta unidade upstream será exportada para um centro de distribuição midstream na ilha de Krk, na Croácia .

O Green Energy Park Krk será baseado em um local industrial com armazenamento de amônia existente, berços de águas profundas. A distribuição para regiões industriais importantes como o norte da Itália e o sul da Alemanha já está estabelecida, incluindo opções de rodovias, ferrovias e barcaças.

O Green Energy Park está almejando que a instalação midstream de Krk tenha uma capacidade de produção de 10 milhões de toneladas de amônia por ano, com operações a serem iniciadas em 2027. O Green Energy Park está planejando um mínimo de oito instalações de produção upstream em escala de GW, incluindo o novo projeto Piauí (locais indicativos incluem a Costa do Golfo dos EUA, nordeste dos EUA, Namíbia/África do Sul, Oriente Médio e Índia).

O Green Energy Park, em desenvolvimento no litoral piauiense, é um dos 3 projetos brasileiros selecionados para impulsionamento por uma iniciativa global de descarbonização da indústria. O Acelerador de Transição Industrial (ITA, na sigla em inglês) acaba de anunciar o apoio, voltado à conexão com financiadores e colaboração em políticas públicas para que os projetos avancem. No Piauí, o Green Energy Park está desenvolvendo uma unidade de produção e exportação de amônia verde. A primeira fase tem como meta uma capacidade de exportação de 2,1 milhões de toneladas por ano e envolveria um investimento de aproximadamente US\$ 4,5 bilhões. Após a conclusão da primeira etapa, o projeto poderia evitar até 3,2 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente por ano, em comparação com a produção convencional de amônia, segundo o ITA.

O escopo do Green Energy Park inclui o uso doméstico de hidrogênio verde para aplicações industriais, como o aço verde, e o estabelecimento de um corredor de transporte verde para a Europa e outras partes do mundo.

Além do projeto no território piauiense, o ITA escolheu outros 2 na região nordeste: European Energy (em Pernambuco) e Fortescue H<sub>2</sub>V (no Ceará). Juntos, os três projetos podem evitar a emissão de cerca de 5,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente, destacou o ITA. O Acelerador de Transição Industrial (ITA) é fruto da Conferência do Clima da ONU (COP28) em Dubai, e nasceu para impulsionar a descarbonização da indústria e atrair investimentos para tecnologias e inovações verdes.

Seu foco é voltado a setores altamente emissores como o alumínio, cimento, produtos químicos e aço e no transporte de aviação e marítimo. Ao todo, estes respondem por cerca de um terço das emissões globais.



Amônia renovável brasileira, da desenvolvedora norueguesa Fuella AS assinaram um pré-contrato para o desenvolvimento de uma planta industrial de hidrogênio renovável (H2V) de 400.000 toneladas por ano na Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do Porto do Pecém. A Fuella AS é uma empresa norueguesa fundada em 2020, que desenvolve e opera de usinas de hidrogênio e amônia verde. Ela foi uma das sete empresas vencedoras do primeiro leilão do Banco Europeu de Hidrogênio da história e já está construindo uma planta de H2V na Noruega.

Com um papel importante no rumo da transição energética no Brasil, o Governo do Ceará assinou, mais um pré-contrato para instalação de uma planta industrial de hidrogênio verde (H2V) na Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do Porto do Pecém. A ação, junto da norueguesa Fuella AS – desenvolvedora e operadora de usinas de hidrogênio verde e amônia- prevê um investimento de R\$ 9 bilhões e a geração de mais de mil empregos.

Deve gerar mil empregos para a construção dessa usina e 100 empregos de alta qualidade quando ela estiver em operação. O acordo estima um investimento total de R\$ 9 bilhões para uma planta industrial com capacidade de produção de 400.000 toneladas/ano, destinada totalmente ao mercado externo. A empresa europeia tem como um dos investidores a Allianz Capital Partners, do grupo Allianz, uma das principais seguradoras, gestoras de ativos e investidores do mundo, com sede na Alemanha.

A Fuella AS foi uma das sete empresas vencedoras do primeiro leilão do Banco Europeu de Hidrogênio da história e já está construindo uma planta de H2V na Europa. No processo, a Comissão Europeia concedeu apoio financeiro de 720 milhões de euros às vencedoras. Essa é uma empresa que está participando fortemente do mercado de Hidrogênio Verde no mundo, e vem aqui para fortalecer o nosso Hub e garantir que possamos oferecer um conjunto de soluções da cadeia de H2V. Não só para o mercado externo, mas também fortalecer o nosso mercado interno.

A Fuella já está construindo uma planta semelhante em Bergen, Noruega, apoiada por uma concessão de subsídio como parte do leilão de € 720 milhões do Banco Europeu de Hidrogênio .



O Porto do Açu e a Yamna, empresa inglesa especializada na produção de hidrogênio verde e seus derivados, firmaram um acordo de reserva de área no hub de baixo carbono do Porto do Açu, localizado no Norte do Rio de Janeiro, para a implantação de uma fábrica de amônia verde.

O complexo portuário está ampliando seu hub de hidrogênio e derivados, que já conta com uma área licenciada de um milhão de metros quadrados. Com a nova parceria, serão reservados mais dois milhões de metros quadrados para o desenvolvimento de novos projetos sustentáveis, consolidando ainda mais a posição estratégica do Porto do Açú na cadeia de baixo carbono.

A Yamna prevê que a nova fábrica de amônia tenha capacidade de produção de até um milhão de toneladas por ano (1MTPA). A decisão final de investimento está prevista para 2027, com o início da produção das primeiras moléculas verdes em 2030.

O primeiro projeto da Yamna no Brasil está alinhado com sua estratégia de desenvolver empreendimentos de grande escala de amônia verde nos lugares mais atrativos globalmente. O Brasil, com sua imensa capacidade de produção de energia renovável, disponibilidade de matérias-primas essenciais, crescente demanda doméstica por combustíveis e fertilizantes de baixo carbono, e localização estratégica para exportação, oferece uma grande oportunidade para ampliar a produção de amônia verde e atender à crescente demanda global.

O Porto do Açú, como líder industrial e hub de energia, proporciona a infraestrutura e logística ideais, fortalecendo ainda mais a posição da Yamna como líder global no mercado de amônia verde.

O processo de assinatura do acordo de reserva de área foi muito colaborativo e eficiente, e estamos confiantes de que essa forte cooperação continuará nas próximas fases do projeto, pavimentando o caminho para uma decisão final de investimento bem-sucedida.

Porto de Antuérpia -Bruges Internacional pela contribuição inestimável para alcançar este marco importante. Na Yamna, esperamos desempenhar um papel fundamental no sucesso deste projeto, aproveitando nossa experiência em hidrogênio e amônia verde.

O porto brasileiro oferece uma das melhores infraestruturas do país para apoiar de forma sustentável a descarbonização da indústria com calado profundo, terrenos disponíveis com acesso direto ao cais e um cluster de serviços que reúne múltiplos fornecedores de suporte portuário e marítimo.

O Porto do Açu como um projeto fundamental para o estabelecimento de um corredor verde, produzindo e exportando moléculas verdes do Brasil para a Bélgica. A presença da Yamna no Porto do Açu reforça a força desta iniciativa, exemplificando o tipo de colaboração pioneira necessária para impulsionar a transição energética global.

Localizado na região norte do Rio de Janeiro, o Porto do Açu é o maior complexo porto-indústria privado de águas profundas da América Latina.

Em operação desde 2014, é administrado pela Porto do Açu Operações, uma parceria entre a Prumo Logística, controlada pelo EIG, e o Porto de Antuérpia-Bruges Internacional.

Ao todo, são 22 empresas já instaladas, entre clientes e parceiros, sendo várias delas companhias de classe mundial. Com atividades de minério, petróleo e gás natural consolidadas e em expansão, o Açu busca acelerar a industrialização com foco em projetos de baixo carbono, sendo reconhecido como o porto da transição energética no país.

A Yamna é uma empresa especializada em hidrogênio verde e derivados, liderada por especialistas da indústria energética. O objetivo da empresa é produzir moléculas verdes em escala para substituir soluções baseadas em combustíveis fósseis existentes ou futuras e contribuir para a redução das emissões globais de gases de efeito estufa. A Yamna está focada em projetos de hidrogênio verde e derivados em grande escala nas localizações globais mais competitivas, posicionando-se como pioneira. A empresa é financiada pela HYCAP, uma gestora de ativos do Reino Unido voltada para o net zero, dedicada a investir em soluções sustentáveis e de energia limpa.

No estudo temos que o aumento da eletrificação e da energia de fontes renováveis é uma forma de reduzir as emissões em muitos setores de produção do amônia e o aquecimento elétrico é uma tecnologia que pode contribuir para a redução de emissões na indústria do amônia. O Brasil tem liderado com sucesso a dissociação das emissões de carbono do crescimento econômico.

A descarbonização industrial no Brasil poderá ocorrer de forma diferente em diferentes setores industriais, dependendo das características locais, da viabilidade das opções de descarbonização pode ser fortemente influenciada pelo preço e disponibilidade de biomassa, eletricidade renovável e locais de armazenamento de carbono. Portanto, diferentes estratégias e caminhos para reduzir as emissões em todos os setores devem ser explorados. E no estudo setorial avaliamos os tipos de biomassa de origem florestal e do processo industrial da madeira, da biomassa da agricultura e do beneficiamento agroindustrial e da cana-de-açúcar para suprimento energético do setor produtivo de amônia.

Finalmente, o estudo setorial avalia as principais tecnologia para a descarbonização as indústrias de amônia. Enumeramos as tecnologias que contribuem para uma indústria de amônia verde.

E embora a intensidade das emissões da produção de amônia esteja diminuindo, ela precisa cair muito mais rápido se quisermos atingir emissões líquidas zero até 2050. Assim como acontece com muitas iniciativas de descarbonização, a colaboração desempenha um papel importante na facilitação da mudança. Vejamos as tecnologias que avaliamos com requinte de detalhes no estudo setorial:

1. Tecnologia Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono é uma tecnologia essencial para reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE).

No estudo setorial avaliamos os detalhes desta tecnologia como uma cadeia de suprimentos multifacetada que tem a vantagem de permitir emissões negativas enquanto gera energia.

Sua versatilidade é ilustrada pela possibilidade de usar toda a gama de matérias-primas de biomassa e muitas vias de conversão.

É uma tecnologia altamente adaptável, pois pode ser aplicada a uma variedade de indústrias como a do setor de alumínio.

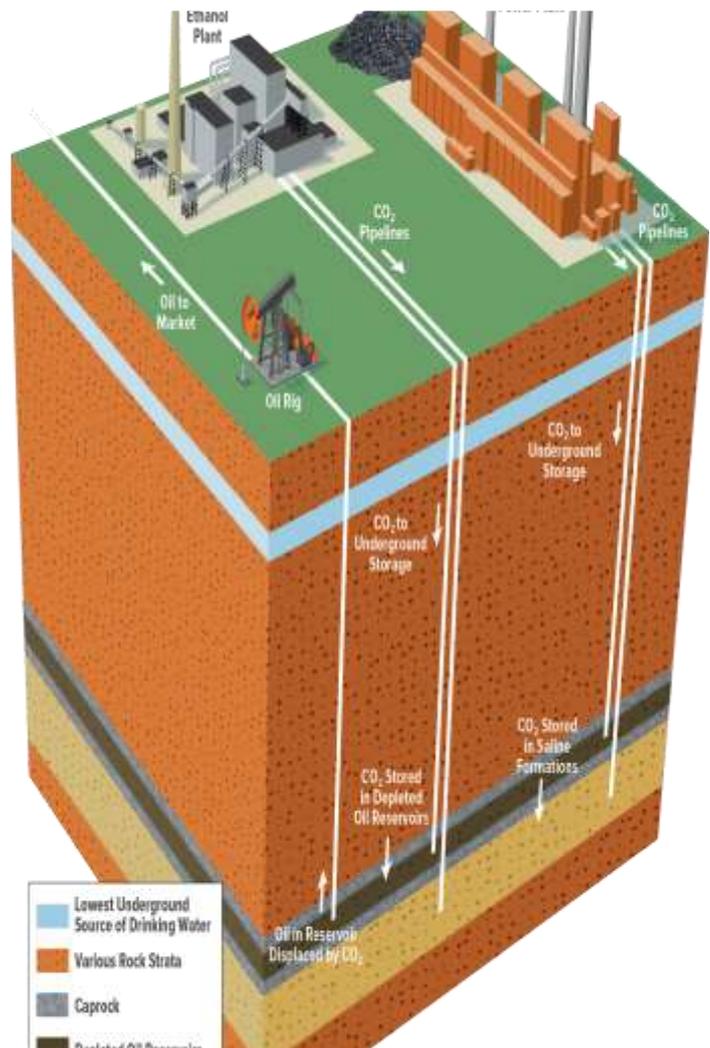
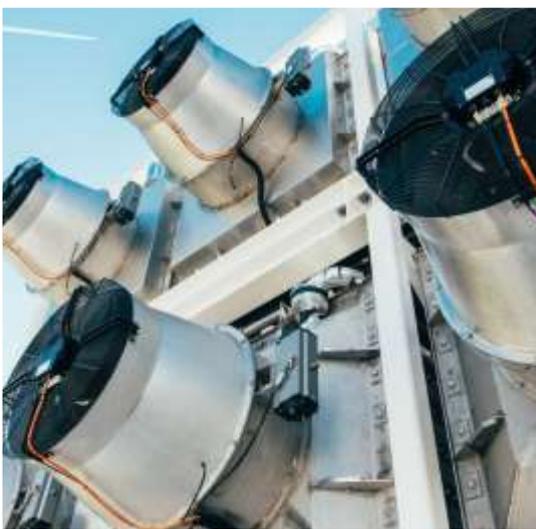
Uma vez que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tenha sido capturado, ele deve ser transportado e armazenado, ou mesmo reutilizado. No entanto, a reutilização pode às vezes resultar em nenhuma emissão negativa, pois o CO<sub>2</sub> é liberado na atmosfera em curto prazo.

Num contexto em que limitar o aquecimento global se tornou uma questão urgente, os projetos de captura de carbono ao setor industrial precisam de ser encorajados e apoiados para garantir que podem continuar a enfrentar os desafios do futuro

A captura pós-combustão opera em baixas pressões e é adequada para gases de combustão de baixas concentrações de CO<sub>2</sub>, mostrando altas eficiências de laboratório a escala comercial.

Essa tecnologia pode reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> das plantas de amônia. Para esse propósito, um caso de uso está sendo investigado atualmente pelo Alvanice, Trimet, LRF (centro de pesquisa da Rio Tinto) e os Fives Groups para avaliar a maneira mais econômica de capturar carbono

O projeto está focado na tecnologia de captura baseada em amina para determinar a viabilidade de capturar gases de combustão diretamente versus a necessidade de concentrar o CO<sub>2</sub> para melhor captura.



No setor de amônia captura, utilização e armazenamento de carbono se destaca como uma solução intermediária potencialmente prática. Isso é particularmente verdadeiro para instalações que podem acessar facilmente combustíveis fósseis econômicos, não têm acesso conveniente a fontes de energia renováveis acessíveis, estão distantes do fim de sua vida operacional e a infraestrutura de transporte e armazenamento necessária está disponível

2. Tecnologia Biocarvão/Biocarbono Bio-óleo e Gás sintético para descarbonização das indústrias de amônia. O biocarvão ou biocarbono recentemente ganhou atenção como um substituto potencial para o carvão devido ao seu potencial de captura de carbono.

Os biocombustíveis produzidos a partir de biomassa residual, como biocarvão, bio-óleo ou gás de síntese, podem ser uma substituição propícia para combustíveis fósseis. O biocarvão recebeu muito interesse como um substituto potencial devido à sua alta combustibilidade, alto conteúdo energético, melhor moabilidade e capacidade reduzida. Além disso, a principal vantagem de usar biomassa ou biocarvão como combustível é sua neutralidade de carbono. No estudo setorial avaliamos os detalhes de produção de biocarvão/biocarbono, bio-óleo e gás sintético para descarbonização das indústrias de amônia.



3. Tecnologia de produção de biometano como substituto ao gás natural.. O biometano, uma forma purificada de biogás produzida pela digestão anaeróbica de matéria orgânica, pode ser integrado em vários estágios da produção de alumínio como um substituto para o gás natural reduzindo assim a pegada de carbono da produção de amônia. Ele também pode servir como um combustível alternativo em fornos de aquecimento, que exigem quantidades substanciais de gás natural para atingir as altas temperaturas necessárias para o processamento da amônia, reduzindo assim as emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, as plantas de amônia com suas próprias unidades de geração de energia podem mudar para o biometano para gerar eletricidade com menos emissões de gases de efeito estufa. A Hydro firmou uma carta de intenções com a Havila para a entrega de biometano de curta distância de duas das plantas da Havila localmente em Møre e Romsdal para a Hydro Sunndal. O acordo está condicionado ao projeto receber suporte da Enova para implementação. O biometano a ser produzido virá de esterco e resíduos de peixes. O biometano será usado na unidade de produção Hydro Sunndal. No geral, o projeto reduzirá o consumo de gás natural na planta da Hydro em Sunndal em 70 por cento.



4. Tecnologia de Hidrogênio Verde produzido por fontes de energia renováveis. Combustíveis alternativos de baixas ou zero emissões de CO<sub>2</sub> são uma solução viável para substituir combustíveis fósseis usados na produção primária do amônia

A combustão de Hidrogênio é responsável por zero emissões de CO<sub>2</sub>. O Hidrogênio verde é um substituto ao gás natural como tratamos no estudo setorial. Para este propósito, dois casos de uso são apresentados indicativamente na Rio Tinto e na Norsk Hydro.

A Rio Tinto fez uma parceria com a Agência Australiana de Energia Renovável (ARENA) para avaliar a viabilidade técnica do H<sub>2</sub> para substituir o gás natural em Yarwun em Queensland.

Além disso, a Norsk Hydro pretende investigar o potencial de operar Hidrogênio como uma alternativa ao gás natural para suas próprias operações, enquanto explora um fluxo de receita adicional, já que o Hidrogênio desempenha um papel cada vez maior na economia verde. Estima-se que esta transição reduza as emissões de CO<sub>2</sub> da Hydro em até 30% até 2030.

O objetivo final do estudo setorial é descrever as abordagens mais comuns de uso da biomassa como fonte de bioeletricidade com opção de mitigação relevantes para indústrias de amônia. Essas opções variam do aumento da eficiência energética e do uso da biomassa como fonte de geração de energia térmica (aquecimento, calor e vapor) ao desenvolvimento e implantação de novas tecnologias de emissões negativas ou zero carbono.

A coalimentação de hidrogênio junto com biomassa para aquecimento industrial é uma abordagem emergente que está sendo explorada por várias indústrias como parte dos esforços para reduzir as emissões de carbono e fazer a transição para fontes de energia mais sustentáveis.

Essa abordagem tem sido amplamente testada em operações e tem potencial para reduzir a pegada de carbono. Isso permite a redução sem a produção de quaisquer gases de efeito estufa. Uma grande quantidade de hidrogênio precisa ser adicionada à reação a uma taxa estável, enquanto a água produzida pela reação deve ser constantemente removida.



A demanda global por amônia verde está crescendo rapidamente, impulsionada por países como Japão e Alemanha, que veem a amônia como uma solução para suas metas de descarbonização. O Brasil, com sua localização estratégica e infraestrutura portuária, está bem posicionado para se tornar um dos principais exportadores de amônia verde, especialmente para mercados onde a adoção de combustíveis limpos está sendo fortemente incentivada.

Além de descarbonizar os usos existentes de amônia, o desenvolvimento da produção de amônia verde também gera os seguintes usos adicionais:

- A amônia pode ser usada como um meio para armazenar e transportar energia química, com a energia sendo liberada diretamente ou pela decomposição total ou parcial de amônia para liberar hidrogênio.

O hidrogênio ou mistura de amônia-hidrogênio é então reagida com oxigênio no ar para liberar energia.

A amônia pode ser usada como combustível de transporte por combustão direta em um motor ou por reação química com oxigênio em uma célula de combustível para produzir eletricidade para alimentar um motor.

- A amônia também pode ser usada para armazenar energia térmica por meio de, por exemplo, mudanças de fase líquida para gasosa, transformações de fase sólida para sólida e absorção com, por exemplo, água.

Finalmente, o processo Haber Bosch pode permitir uma segunda revolução da amônia numa economia sem carbono, utilizando energia renovável para substituir o processo alimentado com metano com utilização intensiva de CO<sub>2</sub> por hidrogênio produzido através da divisão da água, reduzindo drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub> (78%, 0,38 t CO<sub>2</sub> t NH<sub>3</sub><sup>-1</sup>).

A dissociação da produção de H<sub>2</sub> do circuito de síntese de amônia redefinirá a falsa otimização do processo Haber Bosch convencional para acomodar as ineficiências associadas à reforma a vapor do metano criadas pelo baixo preço e alta disponibilidade.

O aumento da eficiência da separação da água, as técnicas alternativas de separação do amoníaco (por exemplo, absorção) e o desenvolvimento de catalisadores são identificados como áreas-chave onde são necessários mais desenvolvimentos materiais e tecnológicos.

A viabilidade da implementação de um processo Haber-Bosch eletrificado dependerá da capacidade dos novos sistemas Haber Bosch acionados eletricamente para lidar com a natureza geograficamente isolada e intermitente das energias renováveis através da concepção de processos de pequena escala com baixos custos de capital e operação simples, e controle, capaz de uma operação ágil e ajustável.

A natureza modular da produção de hidrogênio através da eletrólise impulsionada por energias renováveis, em vez de reatores de reforma de metano com integração térmica e multiestágios, fornece a resposta para a etapa de produção de hidrogênio. Sua combinação com uma síntese e separação integrada de amônia em baixa pressão é demonstrada aqui para diminuir significativamente os requisitos de energia e custos de capital. O progresso bem sucedido nestas áreas abre oportunidades estimulantes não só na utilização de amônia em fertilizantes, mas também na sua utilização a médio e longo prazo como vector de armazenamento de energia.

A amônia sustentável permitirá a transição dos países desenvolvidos para longe dos combustíveis fósseis e poderá alimentar o crescimento dos países em desenvolvimento para reduzir a pobreza. O papel da amônia é único, pois não só demonstrou ser fundamental na satisfação das necessidades humanas mais básicas de alimentação, mas também pode tornar-se a chave para permitir a rápida transformação das ambições humanas de utilizar plenamente fontes

AUTOR DO ESTUDO SETORIAL